



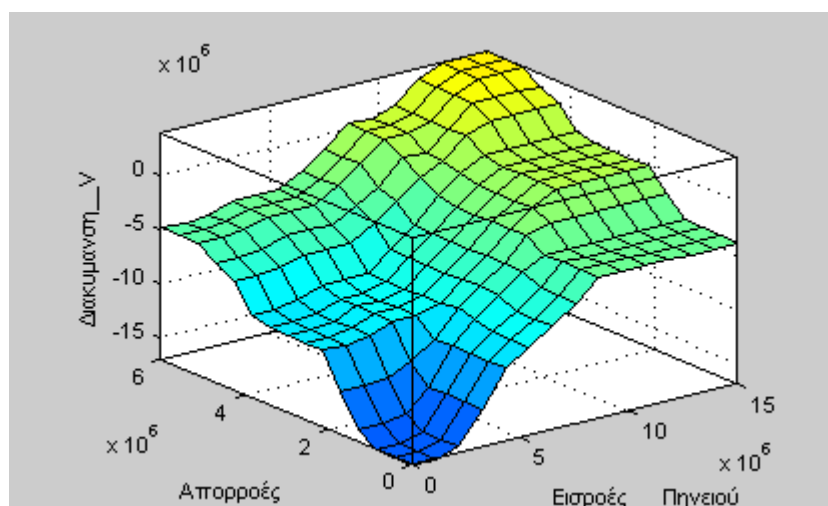
ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ

**Πρόγραμμα Μεταπτυχιακών Σπουδών του Τμήματος Γεωπονίας Φυτικής
Παραγωγής και Αγροτικού Περιβάλλοντος**

**«Αυτοματισμοί στις αρδεύσεις , τις γεωργικές κατασκευές και στην
εκμηχάνιση της γεωργίας»**

Ι. Γ. ΤΖΩΡΤΖΗΣ

**« Δημιουργία Μοντέλου Ασαφούς Λογικής για τη διερεύνηση των
επιπτώσεων των κλιματικών αλλαγών στο Υδατικό Ισοζύγιο της
Λίμνης Κάρλας »**



ΒΟΛΟΣ 2012

**« Δημιουργία Μοντέλου Ασαφούς Λογικής για τη διερεύνηση των επιπτώσεων των κλιματικών
αλλαγών στο Υδατικό Ισοζύγιο της Λίμνης Κάρλας »**

Μέλη τριμελούς συμβουλευτικής επιτροπής

- **Ηρακλής Χαλκίδης** , Λέκτορας του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας με γνωστικό αντικείμενο «Γεωργική υδραυλική με έμφαση στη διαχείριση του νερού στο έδαφος». Επιβλέπων της μεταπτυχιακής διατριβής.
- **Μαρία Σακελλαρίου – Μακραντωνάκη**, Καθηγήτρια του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας με γνωστικό αντικείμενο «Αρδεύσεις – Στραγγίσεις, Υδραυλική».
- **Αντωνιάδης Βασίλης**, Λέκτορας του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας με γνωστικό αντικείμενο «Εφαρμοσμένη εδαφολογία – Ρύπανση εδαφών με βαρέα μέταλλα».

Ευχαριστίες

Ευχαριστώ ιδιαίτερα τον καθηγητή μου, Λέκτορα κ. Ηρακλή Χαλκίδη για την καθοδήγηση και την πολύτιμη βοήθειά του κατά τη διάρκεια εκπόνησης της μεταπτυχιακής μου διατριβής. Επίσης θα ήθελα να ευχαριστήσω την καθηγήτρια του τμήματος κα. Μαρία Σακελλαρίου – Μακραντωνάκη και τον Λέκτορα κ. Αντωνιάδη Βασίλη για τον χρόνο που αφιέρωσαν για τη διόρθωση της διατριβής μου.

Ακόμη, θα ήθελα να ευχαριστήσω τον Καθηγητή του τμήματος Γεωλογίας του Αριστοτελείου Πανεπιστημίου Θεσσαλονίκης κ. Καρακώστα Θεόδωρο και τον Επίκουρο καθηγητή του ίδιου τμήματος κ. Πρόδρομο Ζάνη για τις πολύτιμες συμβουλές τους. Τέλος θέλω να ευχαριστήσω τον κ. Παπανίκο Νικόλαο για τη χορήγηση των δεδομένων που συνέβαλαν στην ολοκλήρωση της παρούσας διατριβής.

Περίληψη

Η παρούσα εργασία έχει ως σκοπό την κατασκευή ενός προγράμματος ασαφούς λογικής για τον υπολογισμό του υδατικού ισοζυγίου της λίμνης Κάρλας με κλιματικά δεδομένα από μοντέλα πρόβλεψης των κλιματικών αλλαγών της περιόδου 2070-2100. Αρχικά πραγματοποιήθηκε μια στατιστική επεξεργασία των δεδομένων της βροχόπτωσης της περιοχής τόσο της περιόδου 1960-1990 όσο και της 2070-2100 από διάφορα κλιματικά μοντέλα και εξετάστηκε η προσαρμοστικότητα τους στην περιοχή διερεύνησης. Τα μελλοντικά δεδομένα βρέθηκαν από το Ευρωπαϊκό πρόγραμμα πρόγνωσης για τις κλιματικές αλλαγές, το PRUDENCE. Οι τιμές που εμφάνισαν την καλύτερη προσαρμοστικότητα στην περιοχή διερεύνησης και χρησιμοποιήθηκαν στη παρούσα διατριβή είναι από το περιοχικό μοντέλο (Regional Climate Model) RCAO. Στη συνέχεια βρέθηκε μια γραμμική εξίσωση διόρθωσης των μελλοντικών δεδομένων της βροχόπτωσης για κάθε μήνα, μέσω της μεθόδου της διπλής αθροιστικής καμπύλης και υπολογίστηκαν οι νέες τιμές της. Κατόπιν υπολογίστηκαν οι μηνιαίες τιμές των μεταβλητών του υδατικού ισοζυγίου της λίμνης την περίοδο 2070-2100. Μετά την ασαφοποίηση (fuzzification) των μεταβλητών του υδατικού ισοζυγίου της λίμνης κατασκευάστηκε το πρόγραμμα ασαφής λογικής στο λογισμικό MATLAB. Κάνοντας χρήση των τιμών του προγράμματος στη συνέχεια βρέθηκε η μηνιαία στάθμη της λίμνης για διάφορα μελλοντικά σενάρια.

Λέξεις – κλειδιά : υδρολογία, βροχόπτωση, κλιματικά μοντέλα, Mamdani,

Περιεχόμενα

Κεφάλαιο 1	1
Εισαγωγή	1
Κεφάλαιο 2. Κλιματικές αλλαγές	5
2.1 Καιρός – Κλίμα	5
2.2 Το Φαινόμενο του θερμοκηπίου	7
2.2.1 Οι ακτινοβολίες	7
2.2.2 Το φαινόμενο του θερμοκηπίου	9
2.3 Τα αιωρούμενα σωματίδια	14
2.4 Κλιματικές αλλαγές την τελευταία χιλιετία	15
2.5 Επιδράσεις του Φαινομένου του Θερμοκηπίου	16
2.5.1 Μεταβολή της Θερμοκρασίας	17
2.5.2 Κατακρημνίσεις	18
2.5.3 Ανύψωση της στάθμης της θάλασσας	19
2.6 Το Φαινόμενο El Nino – La Nina	21
2.7 Υδάτινοι πόροι	23
2.8 Κλιματικές αλλαγές στην Ελλάδα	24
<u>Κεφάλαιο 3. Τα κλιματικά μοντέλα</u>	26
3.1 Το πρόγραμμα PRUDENCE	29
3.2 Τα παγκόσμια κλιματικά μοντέλα	34
3.2.1 Το κλιματικό μοντέλο HadCM3	34
3.2.2 Το κλιματικό μοντέλο ECHAM4	34
3.2.3 Το κλιματικό μοντέλο ECHAM5	35
3.3 Τα περιοχικά κλιματικά μοντέλα (RCM's)-το μοντέλο RCAO	35
<u>Κεφάλαιο 4. Ο κύκλος του νερού</u>	37
4.1 Τα στάδια του κύκλου του νερού	37
4.2 Η διήθηση	40
4.3 Απορροές	41

4.4 Υδατικό ισοζύγιο	43
<u>Κεφάλαιο 5. Η ασαφής λογική</u>	44
5.1.1 Βασικοί ορισμοί πραγματικών συνόλων	45
5.1.2 Το ασαφές σύνολο	46
5.2 Στοιχεία των ασαφών συνόλων	48
5.3 Βασικές Ιδιότητες Ασαφών Συνόλων	50
5.4 Πράξεις Ασαφών Συνόλων	52
5.5 Λεκτικοί Τροποποιητές ή Φράκτες	53
5.6 Ασαφείς κανόνες	53
5.7 Ασαφείς Ελεγκτές	54
5.8 Συστήματα Ασαφούς Λογικής	56
5.8.1 Το Ασαφές Μοντέλο Mamdani	57
 <u>Κεφάλαιο 6. Υδρολογία της περιοχής της λίμνης Κάρλα</u>	59
6.1 Η λίμνη Κάρλα	59
6.2 Περιγραφή της μορφολογίας της λεκάνης της λίμνης Κάρλα	61
6.3 Κλίμα και υδρολογικά στοιχεία της λίμνης Κάρλα	63
6.4 Υδρογεωλογικά στοιχεία	64
6.4.1 Υδατικό ισοζύγιο Λίμνης Κάρλα	64
6.4.2 Ισοζύγιο νερού στη λίμνη	65
 <u>Κεφάλαιο 7. Στατιστική επεξεργασία των τιμών της βροχόπτωσης των περιόδων 1960-1990 και 2070-2100 του μοντέλου RCAO</u>	67
7.1 Μετεωρολογικά δεδομένα της περιοχής την περίοδο 2070-2100 από τα μοντέλα RCAO, HIRHAM, REMO	67
7.2 Επεξεργασία των τιμών της βροχόπτωσης της περιοχής την περίοδο 1960-1990 από το μοντέλο RCAO	71
7.3 Διόρθωση των μελλοντικών τιμών βροχόπτωσης του RCAO στην περιοχή της λίμνης Κάρλα	88

<u>Κεφάλαιο 8. Κατασκευή συστήματος ασαφούς λογικής του ισοζυγίου της λίμνης Κάρλα και μέτρηση της στάθμης της την περίοδο 2070- 2072</u>	102
8.1 Οι μεταβλητές του συστήματος	102
8. 2 Ασαφοποίηση των μεταβλητών του συστήματος	103
8. 3 Εισαγωγή των ασαφών κανόνων	109
8. 4 Μέτρηση μελλοντικών τιμών διακύμανσης του όγκου της λίμνης και εύρεση της στάθμης της την τριετία 2070 – 2072	111
<u>Κεφάλαιο 9. Συμπεράσματα – Συζήτηση</u>	115
Ελληνική βιβλιογραφία	120
Ξένη βιβλιογραφία	122
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ	125
Abstract	134

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

1. Εισαγωγή

Με τον όρο κλιματική αλλαγή αναφερόμαστε στη μεταβολή του παγκόσμιου κλίματος και ειδικότερα σε μεταβολές των μετεωρολογικών συνθηκών που εκτείνονται σε μεγάλη χρονική κλίμακα. Τέτοιου τύπου μεταβολές περιλαμβάνουν στατιστικά σημαντικές διακυμάνσεις ως προς τη μέση κατάσταση του κλίματος ή τη μεταβλητότητά του, που εκτείνονται σε βάθος χρόνου δεκαετιών ή περισσότερων ακόμα ετών. Οι κλιματικές αλλαγές οφείλονται σε φυσικές διαδικασίες, καθώς και σε ανθρώπινες δραστηριότητες με επιπτώσεις στο κλίμα, όπως η τροποποίηση της σύνθεσης της ατμόσφαιρας.

Το πλούσιο σε γεγονότα γεωλογικό παρελθόν του πλανήτη μας, συνέβαλε να γνωρίσει η Γη μας πολλές κλιματικές αλλαγές. Το κλίμα της γης αλλάζει συνεχώς. Βιώνοντας μόνο μια πολύ μικρή περίοδο σε σχέση με την ηλικία της Γής αλλά και την χρονική διάρκεια των αλλαγών που γίνεται σε αυτή, δυσκολευόμαστε πολλές φορές να αντιληφθούμε τις μεγάλες αλλαγές του κλίματος το οποίο χαρακτηρίζεται από πολλές περιόδους παγετώνων, οι οποίες διακόπτονται από σύντομα διαλείμματα ζέστης και ακμάζουσας ζωής. Για παράδειγμα η περιοχή της Ευρώπης και της Βόρειας Αμερικής πριν από 18.000 χρόνια καλυπτόταν από πάγους, ενώ τώρα το εύκρατο κλίμα που επικρατεί έχει σαν συνέπεια την μεγάλη πρόοδο στις επιστήμες, την τεχνολογία, τον πολιτισμό κτλ. Το αντίθετο ισχύει για πολλές περιοχές της Γής που οι συνθήκες είναι τώρα ερημικές ή πολικές ενώ πριν χιλιάδες ή εκατομμύρια χρόνια έσφυζαν από χλωρίδα και πανίδα.

Το κλίμα που βιώνουμε είναι αποτέλεσμα της αλληλεπίδρασης εκατοντάδων μεταβλητών οι οποίες έχουν σχέση με την κύρια πηγή ενέργειας του πλανήτη καθώς και με τις γήινες παραμέτρους που το διαμορφώνουν (σύσταση της ατμόσφαιρας, άνεμοι και θαλάσσια ρεύματα, τοπογραφία, νέφη και υετός, ηφαιστειακές εκρήξεις, κτλ). Οποιαδήποτε αλλαγή γίνει σε αυτές τις παραμέτρους είτε από κάποιον φυσικό παράγοντα είτε από κάποια ανθρώπινη δραστηριότητα, θα επιφέρει μεταβολή και στο κλίμα. Οι αλλαγές που συμβαίνουν στο παγκόσμιο κλίμα είναι σχετικά δύσκολο να ανιχνευτούν την περίοδο που συμβαίνουν καθώς δεν υπάρχουν καθαρές ενδείξεις, Ωστόσο οι μελέτες δείχνουν ότι τα τελευταία χρόνια με την αύξηση της συγκέντρωσης των ρυπογόνων ουσιών στην ατμόσφαιρα, εξαιτίας των ανθρώπινων δραστηριοτήτων, υπάρχει μια διαταραχή του κλίματος.

Διάφορες εργασίες που πραγματοποιήθηκαν από ερευνητές και διάφορους οργανισμούς υπέδειξαν κάποιες σοβαρές αλλαγές που έχουν συμβεί τα τελευταία χρόνια στον πλανήτη μας. Από το 1980 και μετά έχουν καταγραφεί τα δεκατέσσερα θερμότερα έτη, τα ακραία καιρικά φαινόμενα εμφανίζονται ολοένα και πιο συχνά, η στάθμη της θάλασσας έχει ανέβει τα τελευταία 140 χρόνια περίπου στα 20 εκατοστά, ένα μεγάλο ποσοστό των παγετώνων της Αρκτικής και της Ανταρκτικής έχει λιώσει κτλ. Αυτά δείχνουν ότι υπάρχει ένα πολύ σημαντικό ζήτημα και οι συνέπειες θα επηρεάσουν ολόκληρη την ανθρωπότητα σε κοινωνικό, οικονομικό και πολιτικό επίπεδο.

Έχουν γίνει πολλές προσπάθειες από επιστήμονες να προβλεφθεί το τι θα συμβεί στο κλίμα το επόμενο διάστημα αλλά και σε μια περίοδο 100 ετών, ώστε να παρθούν κάποια μέτρα από τώρα για να αποτραπούν οι καταστροφικές συνέπειες. Για αυτό τον λόγο κατασκευάστηκαν κάποια λογισμικά, τα παγκόσμια κλιματικά μοντέλα (Global Climate Models, GCM's), τα οποία χρησιμοποιώντας τις μεταβλητές που επηρεάζουν το κλίμα και τις προβλεπόμενες μελλοντικές τους τιμές, δίνουν κάποια στοιχεία του μελλοντικού κλίματος όπως βροχόπτωση θερμοκρασία κτλ για όλες τις περιοχές του πλανήτη.

Όλα τα μοντέλα συγκλίνουν σε ένα αποτέλεσμα. Ότι σε γενικές γραμμές θα υπάρχει αύξηση της μέσης θερμοκρασίας της Γής και σε ορισμένες περιοχές θα είναι ιδιαίτερα μεγάλη καθώς και ότι θα μειωθεί η συχνότητα της βροχόπτωσης αλλά θα υπάρχουν ορισμένες ακραίες μηνιαίες τιμές του ύψους βροχής σε κάποια μέρη. Στη συνέχεια κατασκευάστηκαν τα περιοχικά μοντέλα (Regional Climate Models, RCM's) τα οποία προβλέπουν το κλίμα σε μια συγκεκριμένη περιοχή και η ανάλυσή του (grid) είναι σαφώς μεγαλύτερη. Τελευταία η ανάλυση των μοντέλων πλησιάζει την τιμή 20 x 20 Km για κάθε κελί του πλέγματος, κάτι που δίνει την δυνατότητα για πιο λεπτομερείς επεξεργασίες των δεδομένων σε συγκεκριμένες περιοχές.

Με βάση τα στοιχεία της κάθε περιοχής έχουν γίνει πολλές προσπάθειες παγκοσμίως αλλά και στη χώρα μας, ώστε να κατασκευαστούν προγράμματα εξομοίωσης του υδρολογικού ισοζυγίου μιας περιοχής. Η κατασκευή αυτών των μοντέλων μας δίνει την δυνατότητα μέσω της προσομοίωσης να βρούμε όλα τα υδρολογικά στοιχεία που χρειάζονται για μια μελέτη, να προβλεφθούν διάφορες καταστάσεις και αδυναμίες και αντίστοιχα να παρθούν οι σωστές αποφάσεις. Όμως επειδή στη φύση τίποτα δεν είναι σταθερό και κάθε μεταβλητή επηρεάζεται από

πολλούς παράγοντες τους οποίους δε μπορούμε να προσδιορίσουμε, οι ερευνητές έχουν εισάγει στις εργασίες τους την έννοια της ασάφειας.

Η ασάφεια σαν έννοια βοήθησε ώστε οι τιμές των μεταβλητών που εισάγουμε σε ένα σύστημα να μην έχουν διακριτές τιμές, επειδή η ακριβής τιμή τους πολλές φορές είναι αδύνατο να βρεθεί. Με την κατασκευή ενός ασαφούς συστήματος μπορεί να βρούμε αποτελέσματα χρησιμοποιώντας ένα εύρος τιμών για κάθε μεταβλητή. Πολλοί επιστήμονες ασχολήθηκαν με την κατασκευή τέτοιων συνόλων παγκοσμίως αλλά και στη χώρα μας. Μερικές από τις εργασίες που έχουν πραγματοποιήσει Έλληνες επιστήμονες είναι:

- Ο Γκανούλης (1994) ανέπτυξε τη θεωρία της ασαφούς λογικής και ορισμένες εφαρμογές σε προβλήματα ποιότητας και ποσότητας υδατικών πόρων. Ο ίδιος το 2000 επίλυσε ένα πρόβλημα τροφοδοσίας υδροφορέα με διήθηση, για το οποίο ορισμένοι συντελεστές (συντελεστές διάχυσης της εδαφικής υγρασίας) δεν ήταν γνωστοί, παρά μόνο κατά προσέγγιση και χρησιμοποίησε στη λύση που παρουσίασε ένα ρητό αριθμητικό σχήμα.
- Οι Mripas et al. (1998) παρουσίασαν την επίλυση ενός μονοδιάστατου προβλήματος ρύπανσης ποταμού, με την βοήθεια της ασαφούς λογικής και ως άγνωστη μεταβλητή θεωρήθηκε το Βιοχημικά Απαιτούμενο Οξυγόνο (BOD). Οι ασαφείς παράμετροι, που εισήχθησαν στο σύστημα, ήταν ο συντελεστής διασποράς και οι δύο συντελεστές αποδόμησης. Ο ίδιος το 1998 διερεύνησε τη διασπορά Ρυπαντών στο νερό χρησιμοποιώντας την Ασαφή ή Προσεγγιστική Λογική.
- Ο Χαλκίδης Ηρακλής (2005) παρουσίασε την εφαρμογή της προσεγγιστικής λογικής (ή ασαφούς λογικής) στους υπόγειους υδροφορείς μέσω της προσομοίωσης με αριθμητικά μοντέλα αλλά και υπολογιστικά προγράμματα (software). Ο ίδιος το 2009 (Halkidis et al., 2009) εφάρμοσε την ασαφή λογική σε πρόβλημα διαχείρισης νερού στο έδαφος.
- Ο Τζιμόπουλος Χρήστος (Tzimopoulos et al., 2009) παρουσίασε μια μέθοδο επίλυσης πρακτικών προβλημάτων της υδραυλικής επιστήμης για την περίπτωση που ορισμένες παράμετροι του συστήματος παρουσιάζουν ασάφειες ως προς τις πραγματικές τους τιμές.

Σκοπός της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι η κατασκευή ενός ασαφούς συστήματος μέτρησης του υδατικού ισοζυγίου της λίμνης Κάρλας με το οποίο θα μπορέσουμε να υπολογίσουμε την στάθμη της λίμνης την περίοδο 2070-2072. Αρχικά γίνεται μια προσπάθεια εκτίμησης του μοντέλου του οποίου οι τιμές έχουν την μεγαλύτερη συσχέτιση με αυτές του μετεωρολογικού σταθμού για την περίοδο 1960-1990. Εξετάστηκαν οι τιμές του HIRHAM, του RCAO (Regional Coupled Atmosphere Ocean model) και του REMO. Τελικά επιλέχτηκαν οι τιμές του RCAO. Χρησιμοποιώντας τις τιμές του περιοχικού μοντέλου RCAO εκείνης της περιόδου αλλά και τις τιμές του RCAO που έχουν υποστεί κάποια διόρθωση κατασκευάστηκε το πρόγραμμα και στη συνέχεια υπολογίστηκε η στάθμη της λίμνης για διάφορα σενάρια της αρχικής της στάθμης και για διάφορες τιμές των παραμέτρων της.

2. Κλιματικές αλλαγές

2.1 Καιρός - Κλίμα

Στο πλαίσιο της διερεύνησης των κλιματικών αλλαγών υπάρχουν κάποιες έννοιες που πρέπει να τονισθούν. Αυτές οι έννοιες είναι σημαντικές καθώς οι παράμετροι οι οποίοι το χαρακτηρίζουν παίζουν τον κύριο ρόλο στη διαμόρφωση του υδατικού ισοζυγίου κάθε περιοχής. Αυτές είναι ο καιρός, το κλίμα και οι παράγοντες που τα διαμορφώνουν (<http://geogr.eduportal.gr>).

Με τον γενικό όρο καιρός σύμφωνα με την ιστοσελίδα (<http://el.wikipedia.org/wiki/καιρος>), εννοείται η κατάσταση της ατμόσφαιρας της Γης σε συγκεκριμένο τόπο και χρόνο από την άποψη της θερμοκρασίας, της ατμοσφαιρικής πίεσης, της υγρασίας και του υφισταμένου ανέμου (ένταση και διεύθυνση), με ότι άλλο φαινόμενο συνοδεύει αυτά, τόσο στη ξηρά, όσο και στη θάλασσα ή στον υπερκείμενο αέρα του ίδιου πάντα τόπου. Συνεπώς θα μπορούσε να ορισθεί ότι "καιρός είναι το σύνολο των μετεωρολογικών παραμέτρων σε μία συγκεκριμένη τοποθεσία και κατά μία συγκεκριμένη χρονική στιγμή. Οι "μηχανές" που παράγουν τις διάφορες ατμοσφαιρικές καταστάσεις ανά τον κόσμο είναι πρωταρχικά ο Ήλιος, και στη συνέχεια η Γη, με τις κινήσεις της και η ατμόσφαιρα που περιβάλλει τη Γη, οι οποίες και συγκροτούν το λεγόμενο "θερμικό σύστημα". Όλα τα συναφή φαινόμενα, λεγόμενα και "καιρικά φαινόμενα" συμβαίνουν στην ατμόσφαιρα τα οποία και επιδρούν στην επιφάνεια της Γης. Σημαντικό ρόλο στη διαμόρφωση του καιρού έχουν και άλλα στοιχεία όπως η νέφωση, ο υετός και η ορατότητα αλλά εξαρτώνται από τα κύρια στοιχεία που αναφέρθηκαν παραπάνω.

Κλίμα ονομάζεται, σύμφωνα με την ιστοσελίδα (<http://el.wikipedia.org/wiki/κλίμα>), η μέση καιρική κατάσταση ή καλύτερα ο μέσος καιρός μιας περιοχής, που προκύπτει από τις μακροχρόνιες παρατηρήσεις των διάφορων μετεωρολογικών στοιχείων. Έχει βρεθεί ότι χρειάζονται μετρήσεις 30 ετών για να μπορεί κάποιος να χαρακτηρίσει το κλίμα μιας περιοχής. Το κλίμα επομένως είναι κάτι διαφορετικό από τον καιρό, που χαρακτηρίζεται σαν μια φυσική κατάσταση της ατμόσφαιρας κατά τη διάρκεια μιας μικρής χρονικής περιόδου. Το κλίμα παίζει σπουδαιότατο ρόλο, τόσο στο φυτικό όσο και στο ζωικό βασίλειο. Από το κλίμα ορίζονται οι ζώνες της βλάστησης καθώς και η κατανομή των ζώων και των ανθρώπων πάνω στη γη. Ο τύπος ενός κλίματος συνήθως καθορίζεται από την

ταξινόμηση κατά Köppen, που υιοθετεί διαφορετικές κλιματικές ζώνες με βάση τη βλάστηση της κάθε περιοχής. Οι κύριοι παράγοντες που συντελούν στη μεταβολή του κλίματος από τόπο σε τόπο είναι :

- το γεωγραφικό πλάτος (εισερχόμενη ηλιακή ακτινοβολία)
- υψόμετρο
- η διανομή ξηράς και θάλασσας
- το ανάγλυφο και η κάλυψη του εδάφους. Η κάλυψη του εδάφους από ανθρώπινες δραστηριότητες επηρεάζουν επίσης τα υδρολογικά χαρακτηριστικά μιας περιοχής και κατ' επέκταση και τις βροχοπτώσεις.
- οι άνεμοι και τα κέντρα υψηλής και χαμηλής πίεσης
- η ατμοσφαιρική σύσταση

Όπως παρατηρούμε στη διαμόρφωση του κλίματος μιας περιοχής σημαντικό ρόλο έχουν τόσο οι φυσικοί όσο και οι ανθρωπογενείς παράγοντες. Γενικά όμως, την κύρια ευθύνη διαμόρφωσης του κλίματος την έχει η ηλιακή ακτινοβολία και το ποσοστό απορρόφησής της από την Γη καθώς και οι μεταβολές που συμβαίνουν εξαιτίας αυτής της απορρόφησης. Σε γενικές γραμμές το 70% της ηλιακής ακτινοβολίας απορροφάται από την Γή και το υπόλοιπο ανακλάται στα ανώτερα τμήματα της ατμόσφαιρας. Εκτός από την ανακλώμενη υπάρχει και η υπέρυθρη ακτινοβολία η οποία εκπέμπεται από την επιφάνεια της Γής προς το διάστημα κυρίως τις νυχτερινές ώρες και συμβάλλει στην ψύξη της. Όταν κάποιος από τους κύριους παράγοντες υποστεί κάποια μεταβολή εξαιτίας φυσικών ή ανθρωπογενών παραγόντων και επηρεάσει την εισερχόμενη ή εξερχόμενη ακτινοβολία αλλά και τον μηχανισμό με τον οποίο διανέμεται στο χώρο τότε θα έχουμε και μεταβολή στο κλίμα της περιοχής. Μεταβολές στην εισερχόμενη ηλιακή ακτινοβολία μπορούν να υπάρξουν τόσο από φυσικά αίτια αλλά και σε ανθρωπογενείς παράγοντες. Τους παράγοντες μπορούμε να τους συνοψίσουμε ως εξής:

- Μεταβολή της ηλιακής ακτινοβολίας, η οποία μπορεί να γίνει εξαιτίας της δραστηριότητας του ήλιου αλλά και εξαιτίας της τροχιάς της Γης.
- Μεταβολή στη σύσταση της ατμόσφαιρας που πραγματοποιείται εξαιτίας δυο φυσικών φαινομένων , του φαινομένου του θερμοκηπίου αλλά και των αιωρούμενων σωματιδίων.

- Μεταβολές της εκμεταλλεύσιμης γης οι οποίες αλλάζουν το ποσοστό απορρόφησης της ηλιακής ακτινοβολίας από την Γη.

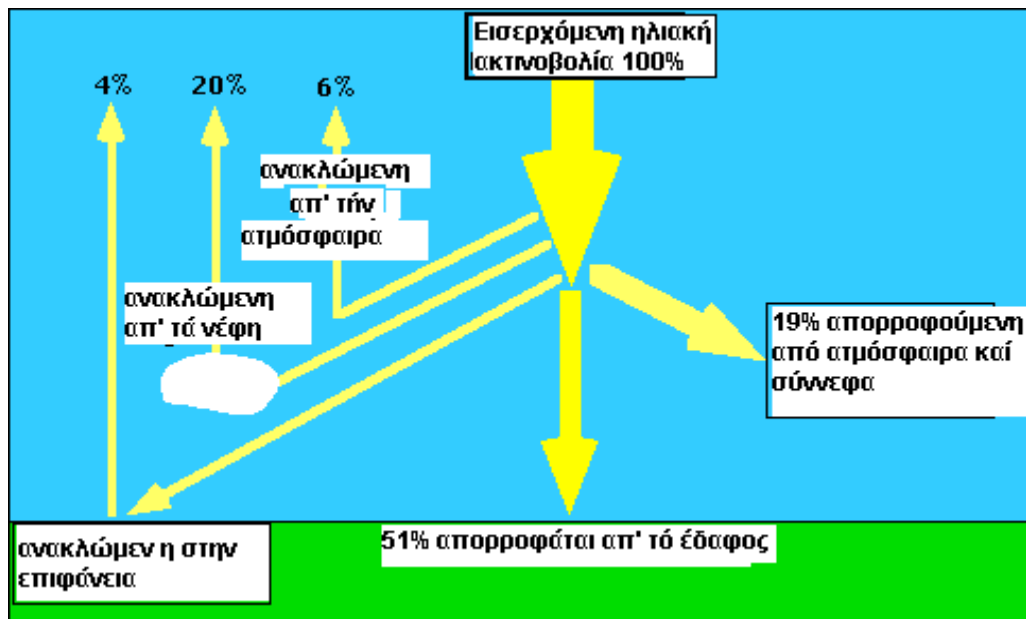
Στη συνέχεια αναφέρονται πιο διεξοδικά τα δυο κύρια φαινόμενα τα οποία είναι υπεύθυνα για τις κλιματικές αλλαγές, το φαινόμενο του θερμοκηπίου και τα αιωρούμενα σωματίδια

2.2 Το Φαινόμενο του θερμοκηπίου

Ένα μάλλον παρεξηγημένο φυσικό φαινόμενο είναι το περίφημο Φαινόμενο Θερμοκηπίου, πού τόσο έχει απασχολήσει τα τελευταία χρόνια, επιστήμονες και μη. Το φαινόμενο είναι φυσικό και είναι τόσο παλιό όσο και ο πλανήτης μας. Και ευτυχώς πού υπάρχει. Η ζωή θα είχε εκλείψει χωρίς την ύπαρξη αυτού, αφού οι θερμοκρασίες θα ήταν εξαιρετικά χαμηλές σε παγκόσμια και ετήσια βάση (-18 βαθμοί Κελσίου, αντί των +15 πού είναι σήμερα) και επομένως απαγορευτικές για την ανάπτυξη ζωής, τουλάχιστον όπως την γνωρίζουμε σήμερα. Από τον οδηγό εκπαιδευτικών του σχολικού μαθήματος ‘Κλιματική αλλαγή’ (Μελάς, Ασωνίτης, Αμοιρίτης, 2000) αναφέρονται τα παρακάτω.

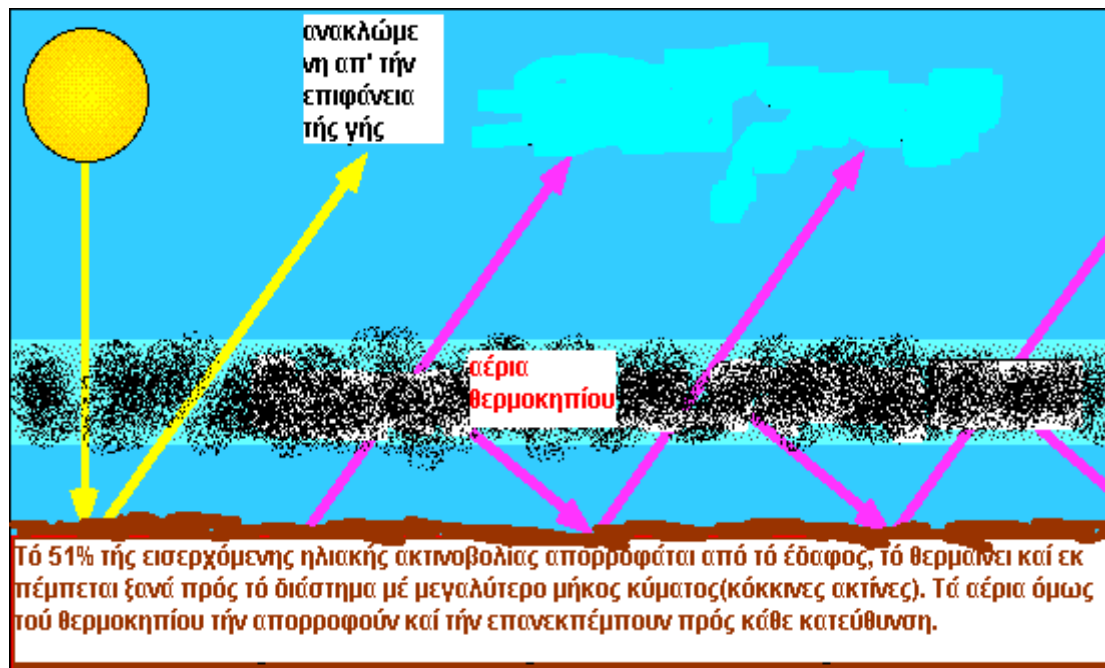
2.2.1 Οι ακτινοβολίες

Η Γή, όπως είναι γνωστό, περιβάλλεται από την ατμόσφαιρά της, εξασφαλίζει δε τις ενεργειακές της ανάγκες από τον ζωοδότη Ήλιο, ο οποίος και την ακτινοβολεί συνεχώς. Μέρος αυτής της ακτινοβολίας κατακρατείται από την Γή ενώ το υπόλοιπο επιστρέφει στο διάστημα. Όπως φαίνεται στο παρακάτω σχήμα (σχήμα 1) μόνο το 51% της ηλιακής ακτινοβολίας απορροφάται από την επιφάνεια της Γής και χρησιμοποιείται για την θέρμανση της επιφάνειας και της χαμηλότερης ατμόσφαιρας, για την τήξη των πάγων ή του χιονιού, την εξάτμιση των υδάτων και την πρόκληση της φωτοσυνθέσεως στα φυτά. Από το υπόλοιπο 49%, το 4% ανακλάται από την επιφάνεια και επιστρέφει προς το διάστημα, το 26 % ανακλάται πίσω από τα νέφη και τα σωματίδια της ατμόσφαιρας και το 19 % απορροφάται από τα ατμοσφαιρικά αέρια, σωματίδια και νέφη.



Σχήμα 1. Ποσοστά απορρόφησης – ανάκλασης της ηλιακής ακτινοβολίας (Πηγή: Πανελλήνιο σχολικό δίκτυο).

Η θέρμανση της Γής την μετατρέπει σε πομπό ακτινοβολίας μεγάλου μήκους κύματος (υπέρυθρη), αφού, σύμφωνα με τον νόμο Stefan-Boltzman κάθε σώμα εκπέμπει ακτινοβολία ανάλογη με την θερμοκρασία πού βρίσκεται. Από αυτή την ακτινοβολία ένα μέρος διαφεύγει στο διάστημα, ενώ το μεγαλύτερο μέρος απορροφάται από τα λεγόμενα αέρια θερμοκηπίου της ατμόσφαιρας, τα οποία έχουν φυσική προέλευση. Τα αέρια αυτά θερμαίνόμενα αρχίζουν και αυτά να εκπέμπουν προς κάθε κατεύθυνση υπέρυθρη ακτινοβολία, αλλά το 90% οδηγείται στο έδαφος, το οποίο θερμαίνεται περαιτέρω, ενισχύεται η υπέρυθρη ακτινοβολία του και το φαινόμενο επαναλαμβάνεται αενάως. Το σχήμα 2 δείχνει ακριβώς αυτή τη διεργασία.



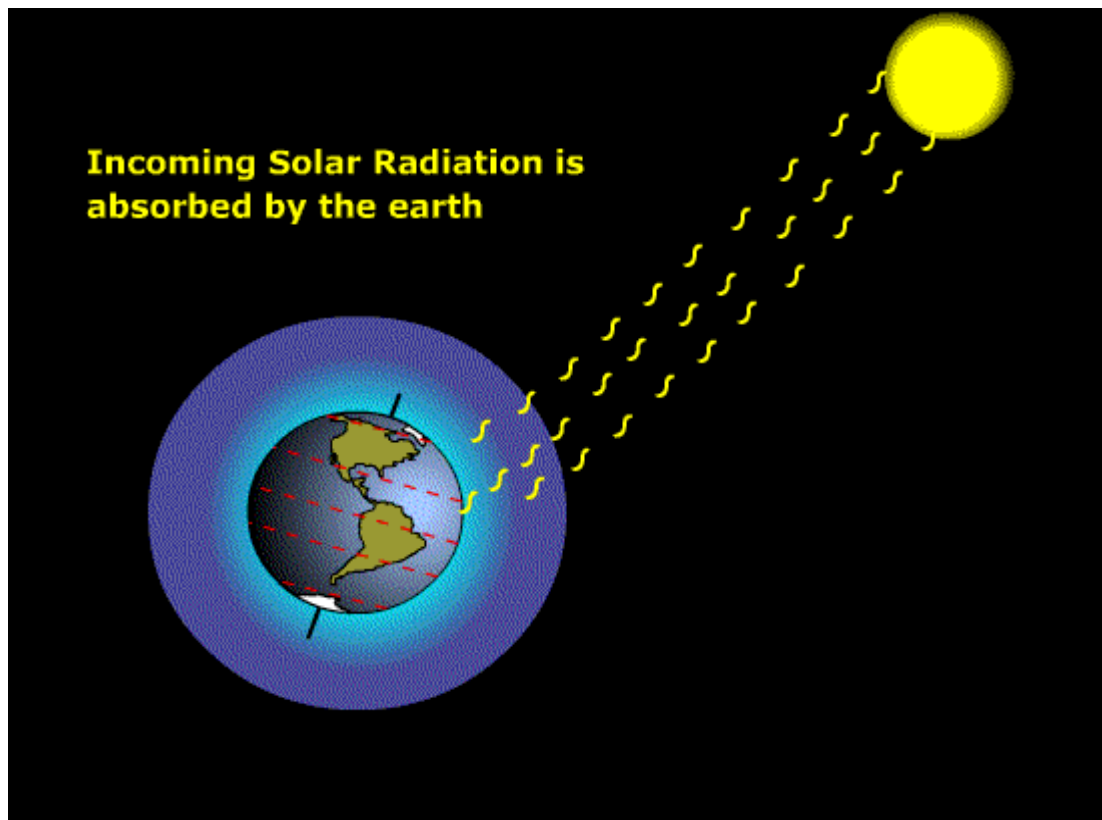
Σχήμα 2. Ο ρόλος των αερίων του θερμοκηπίου (Πηγή: Πανελλήνιο σχολικό δίκτυο).

2.2.2 Το φαινόμενο του θερμοκηπίου

Μιλώντας με ενεργειακούς όρους και συνοψίζοντας τα παραπάνω ας δούμε το ισοζύγιο ακτινοβολίας για το σύστημα Γής-Ατμόσφαιρας σε παγκόσμια και ετήσια βάση, πού έχει ως εξής:

α) Εισερχόμενη στο σύστημα ηλιακή ακτινοβολία κυρίως μικρού μήκους κύματος, πού αντιστοιχεί σε 236 W/m^2 (Σχήμα 3).

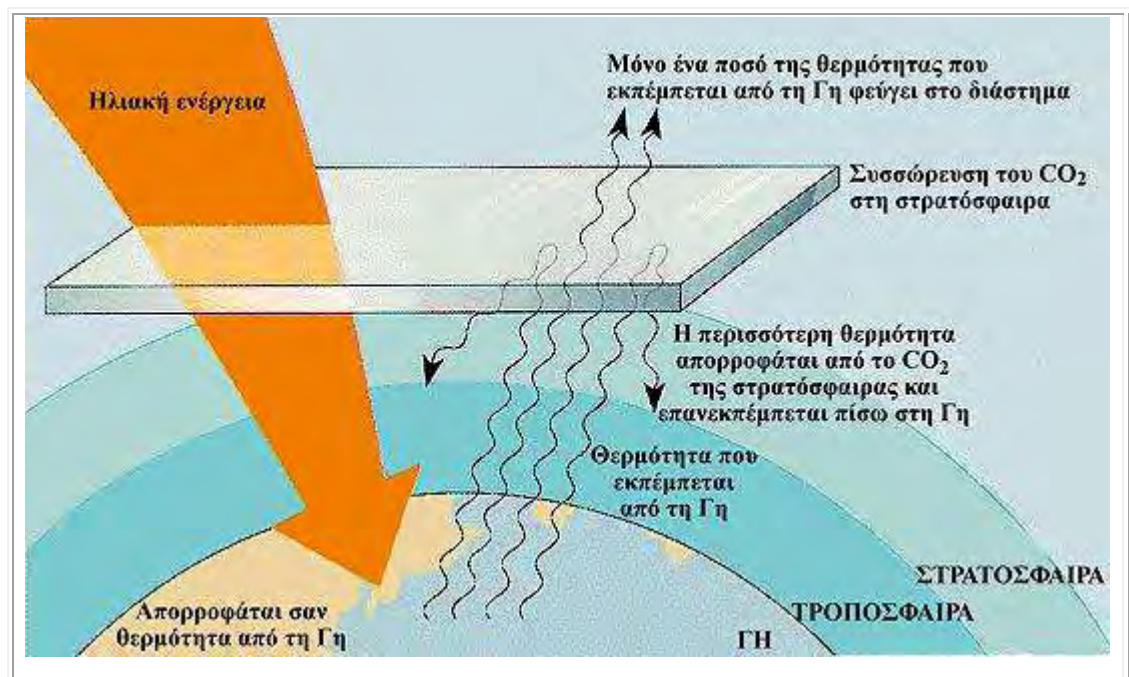
β) Εκπεμπόμενη από την γήινη επιφάνεια ακτινοβολία μεγάλου μήκους κύματος, πού αντιστοιχεί σε 390 W/m^2 .



Σχήμα 3. Η ηλιακή ακτινοβολία που αποκόπτεται από τη Γη (Πηγή: Πανελλήνιο σχολικό δίκτυο) .

Η αρχή διατήρησης της ενέργειας επιβάλλει ώστε η ακτινοβολία που εγκαταλείπει το σύστημα να αντιστοιχεί σε 236 W/m^2 . Έτσι ενώ η ακτινοβολία που εκπέμπεται από την γήινη επιφάνεια αντιστοιχεί σε 390 W/m^2 η παρεμβολή της ατμόσφαιρας την μειώνει σε 236 W/m^2 . Αυτή η μείωση της μεγάλου μήκους κύματος ακτινοβολίας αναφέρεται σαν φαινόμενο θερμοκηπίου και οφείλεται στα αέρια της ατμόσφαιρας (Ζερεφός, 2001). Ειδικότερα το 90% της κατακρατούμενης από την ατμόσφαιρα γήινης ακτινοβολίας οφείλεται στην ύπαρξη των υδρατμών, τού διοξειδίου τού άνθρακος και των νεφών με ενεργότερο συστατικό τούς υδρατμούς. Το υπόλοιπο 10% της κατακράτησης οφείλεται στο όζον, το μεθάνιο και το υποξείδιο τού αζώτου. Τα αέρια αυτά απορροφούν την εκπεμπόμενη από την Γή ακτινοβολία και την επανεκπέμπουν στο διάστημα. Επειδή όμως στην τροπόσφαιρα, που αποτελεί το χαμηλότερο αλλά και πυκνότερο στρώμα της ατμόσφαιρας, η θερμοκρασία ελαττώνεται με το ύψος, η απορρόφηση γίνεται από τα κατώτερα και θερμότερα στρώματα, τα οποία την εκπέμπουν σε ανώτερα και ψυχρότερα. Εξ αιτίας αυτού τα αέρια αυτά εκπέμπουν τελικά προς το διάστημα μικρότερη ακτινοβολία από αυτή που δέχονται από την γήινη επιφάνεια. Έτσι κατακρατούν μέρος αυτής της ακτινοβολίας και αυτό ακριβώς συνιστά το φαινόμενο θερμοκηπίου (Σχήμα 4). Ο όρος

καθιερώθηκε από τις αρχές του 19ου αιώνα, αλλά από τα μέσα της δεκαετίας του 1950 συνδέθηκε με τις κλιματικές αλλαγές και την παγκόσμια θέρμανση.



Σχήμα 4. Το φαινόμενο του θερμοκηπίου (Πηγή: Πανελλήνιο σχολικό δίκτυο).

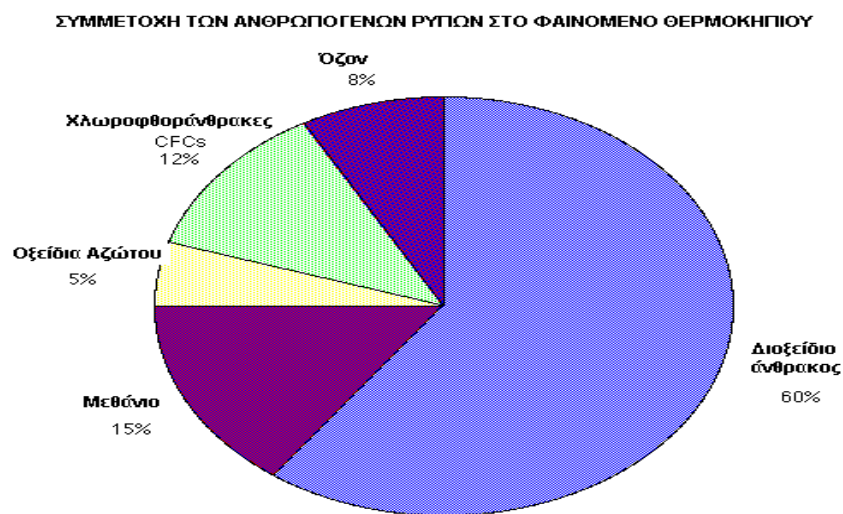
Βεβαίως οι ανθρώπινες δραστηριότητες έχουν ως αποτέλεσμα την αύξηση της συγκέντρωσης των φυσικών αερίων του θερμοκηπίου καθώς και την έκλυση νέων ιχνοστοιχείων, όπως τούς χλωροφθοράνθρακες, αυξάνοντας έτσι τούς απορροφητές της γήινης ακτινοβολίας και μειώνοντας την εκπομπή της προς το διάστημα. Τελικά αυξάνεται η διαθέσιμη ενέργεια στο σύστημα γήινη επιφάνεια - ατμόσφαιρα με συνέπεια την αύξηση της επιφανειακής θερμοκρασίας. Δηλαδή οι ανθρώπινες δραστηριότητες, ενισχύουν το φαινόμενο του θερμοκηπίου, δεν το προκαλούν. Η συσσωρευση κυρίως διοξειδίου τού άνθρακα στην ατμόσφαιρα πραγματοποιείται από την εποχή της Βιομηχανικής Επανάστασης τον 18ο αιώνα (Διάγραμμα 2, Διάγραμμα 3). Φυσικά υπάρχουν και άλλα αέρια που συνεισφέρουν στο παραπάνω φαινόμενο, αλλά σε μικρότερο βαθμό και παρουσιάζονται στον Πίνακα 1 και στο Διάγραμμα 1. Ωστόσο η ενίσχυση αυτή του φαινομένου του θερμοκηπίου σε συνδυασμό με άλλες καταστρεπτικές παρεμβάσεις του ανθρώπου στον πλανήτη πού τον φιλοξενεί, συνιστά κίνδυνο ανατροπής της φυσικής οικολογικής ισορροπίας με συνέπειες, πού ήδη είναι ορατές για πολλούς επιστήμονες.

Οι παράγοντες που ενισχύουν το φαινόμενο είναι οι πυρκαγιές των δασών, τα καυσαέρια των οχημάτων και των βιομηχανιών και η αλόγιστη καύση πετρελαίου και άνθρακα στις βιομηχανικές χώρες που συσσωρεύουν κυρίως διοξείδιο του άνθρακος στην ατμόσφαιρα (Μελάς, Ασωνίτης, Αμοιρίτης, 2000). Όλα αυτά συμβάλλουν στην εκδήλωση του γνωστού ως «πρόβλημα Παγκόσμιας Θέρμανσης». Στον πίνακα που ακολουθεί παρουσιάζονται τα αέρια που συμμετέχουν ενεργά στο Φαινόμενο Θερμοκηπίου, οι συγκεντρώσεις τους στην ατμόσφαιρα σε μέρη ανά εκατομμύριο (ppm) ή μέρη ανά δισεκατομμύριο (ppb) κατά το έτος 1750 και σήμερα, καθώς και η προέλευσή τους, φυσική ή ανθρωπογενής.

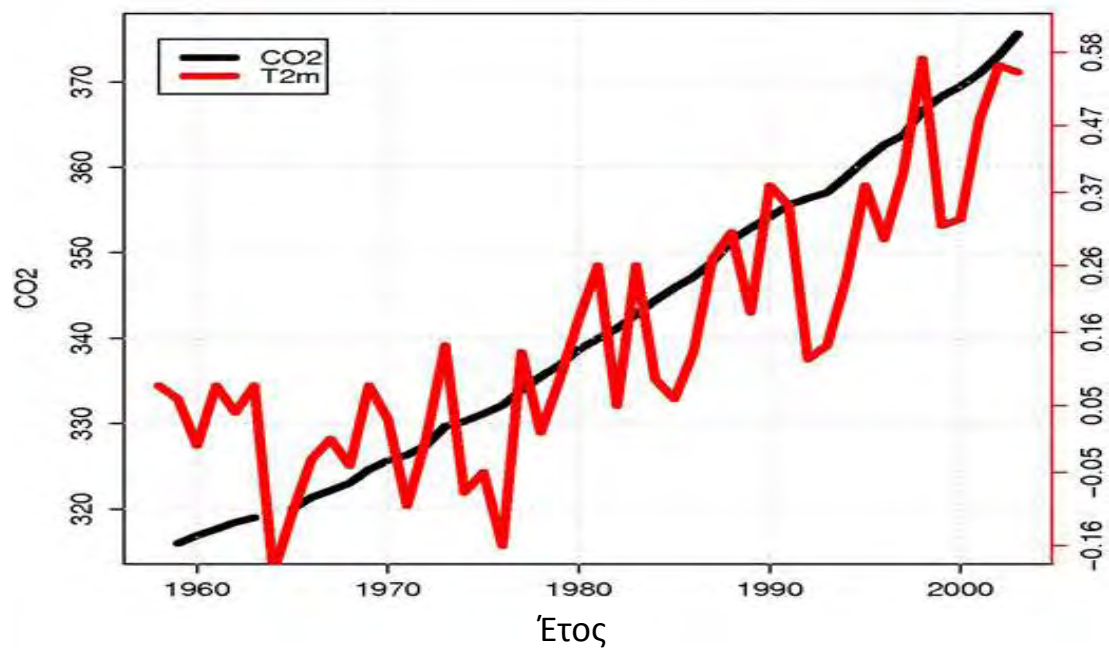
Πίνακας 1. Τα αέρια που συμμετέχουν ενεργά στο φαινόμενο του θερμοκηπίου

Αέρια Θερμοκηπίου	Συγκέντρωση τό 1750	Συγκέντρωση σήμερα	Ποσοστό μεταβολής	Προέλευση
Διοξείδιο του άνθρακα	280 ppm	360 ppm	29 %	Οργανική αποσύνθεση, Πυρκαγιές δασών, Ηφαίστεια, Κάύσιμα Αποδασώσεις, κ.λ.π.
Μεθάνιο	0.70 ppm	1.70 ppm	143 %	Υγρότοποι, Οργανική αποσύνθεση, Τερμίτες, Φυσικό αέριο – πετρελαιοπηγές, Καύση βιομάζας, Ρυζοκαλλιέργειες, Κτήνη, Σκουπιδότοποι
Οξείδια αζώτου	280 ppb	310 ppb	11 %	Δάση, Λιβάδια, Ωκεανοί, Απορρίμματα, Καλλιέργειες, Λιπάσματα; Καύση Βιομάζας, Κάύσιμα
χλωροφθοράνθρακες (CFCs)	0	900 ppt	-	Ψυγεία, Ψεκασμοί, Αεριοθούμενα, Απορρυπαντικά
Όζον	Άγνωστο	Ποικίλει	-	Δράση ηλιακής ακτινοβολίας επί μορίων Οξυγόνου και τεχνητή παραγωγή διά μέσου της φωτοχημικής αιθαλομίχλης

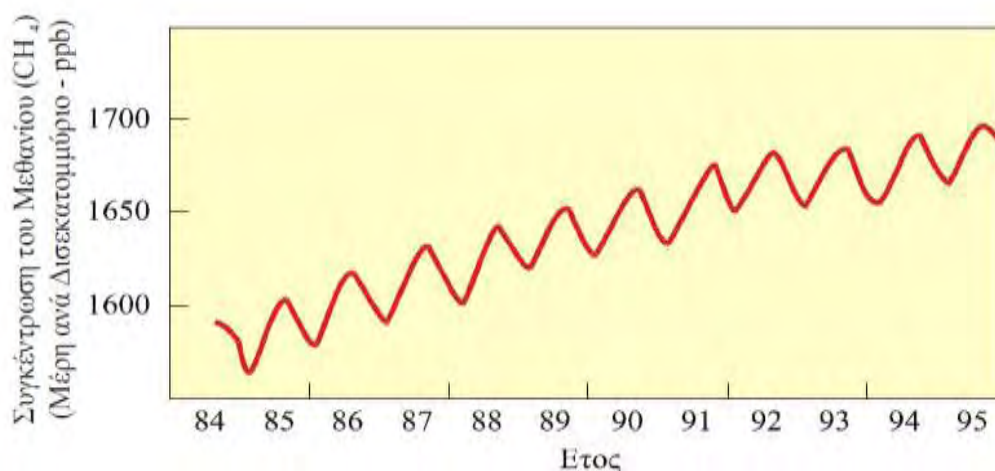
Στο παρακάτω διάγραμμα φαίνεται η συμμετοχή των ρύπων με ανθρωπογενή προέλευση στην ενίσχυση του φαινομένου του θερμοκηπίου.



Διάγραμμα 1. Οι ανθρωπογενείς ρύποι και οι συμμετοχή τους στο φαινόμενο του θερμοκηπίου



Διάγραμμα 2. Μεταβολή της συγκέντρωσης CO₂ τα τελευταία 40 χρόνια(Πηγή :Πανελλήνιο σχολικό δίκτυο).



Διάγραμμα 3. Μεταβολή της συγκέντρωσης CH₄ τα τελευταία 20 χρόνια (Πηγή :Πανελλήνιο σχολικό δίκτυο) .

2.3 Τα αιωρούμενα σωματίδια

Τα αιωρούμενα σωματίδια (αερολύματα) είναι υπεύθυνα για μια ακόμη ανθρώπινη επίδραση στο κλίμα. Σύμφωνα Σε αυτή την περίπτωση, όμως, το αποτέλεσμα είναι διαφορετικό. Τα αιωρούμενα σωματίδια αυξάνουν την ανακλαστικότητα της ατμόσφαιρας με αποτέλεσμα να φθάνει στην επιφάνεια της γης λιγότερη ηλιακή ακτινοβολία. Αυτό έχει σαν συνέπεια την μείωση της θερμοκρασίας. Τα αιωρούμενα σωματίδια είναι δυνατό να προέρχονται τόσο από φυσικές όσο και από ανθρωπογενείς πηγές(Φυσική της ατμόσφαιρας και φυσική του περιβάλλοντος, Ζερεφός, 2001) . Τα φυσικά αιωρήματα – κυρίως σκόνη από τις ηπείρους και άλατα μαζί με θειούχες ενώσεις από τους ωκεανούς – έχουν σταθερή πυκνότητα τουλάχιστον κατά τον τελευταίο αιώνα. Επομένως δεν μπορεί να έχουν επιφέρει ανιχνεύσιμες αλλαγές στο κλίμα. Επίσης, τα αιωρούμενα σωματίδια ηφαιστειακής προέλευσης δεν επηρεάζουν το κλίμα για μεγάλα χρονικά διαστήματα. Για παράδειγμα, η έκρηξη του Pinatubo το 1991 (εικόνα 1.7) είχε σαν αποτέλεσμα μια τοπική ψύξη διάρκειας λίγων ετών. Αντίθετα, τα ανθρωπογενή αιωρήματα στην ατμόσφαιρα έχουν αυξηθεί δραματικά, κυρίως μετά το 1950.

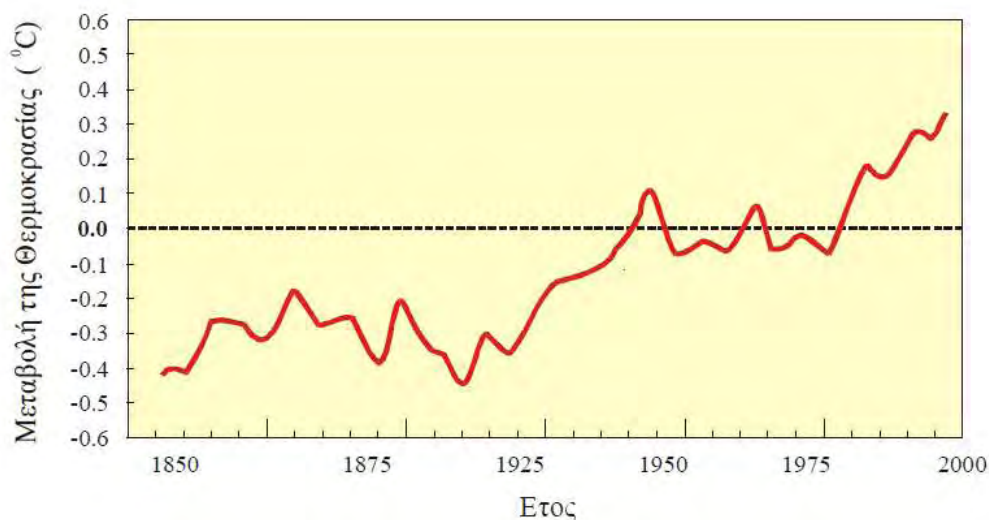


Εικόνα 1. Ηφαιστειακή σκόνη και σωματίδια που εισρέουν στην ατμόσφαιρα εξαιτίας της έκρηξης του ηφαιστείου(Πηγή: Ευτύχιος Ξηράκης, Συστήματα ψήξης με ηλιακή ενέργεια).

2.4 Κλιματικές αλλαγές την τελευταία χιλιετία

Είναι πολύ σημαντικό να γνωρίζουμε και να μελετάμε τις κλιματικές αλλαγές που έχουν γίνει τα προηγούμενα χρόνια καθώς με την επεξεργασία των δεδομένων μπορούν να εξαχθούν χρήσιμα συμπεράσματα. Σύμφωνα με τις πληροφορίες που έχουμε για τα τελευταία χίλια χρόνια αλλά και τις μετεωρολογικές μετρήσεις από το 1700μΧ και μετά , στο Βόρειο ημισφαίριο αλλά και στο Νότιο έχουν πραγματοποιηθεί τρεις σημαντικές κλιματικές αλλαγές (Μελάς, Δ., Ασωνίτης, Γ., Αμοιρίδης, Β., 2000) . Υπήρχε μια θερμή και ξηρή περίοδος από το 1000 έως και το 1400 μΧ η οποία είχε θετικές συνέπειες στη ζωή των ανθρώπων και ονομάστηκε Μεσαιωνικό Βέλτιστο Κλίματος. Μετά από το τέλος αυτής της περιόδου ξεκινά η Μικρή Παγετώδης Εποχή η οποία διήρκεσε από το 1400 έως τα τέλη του 18^{ου} αιώνα. Η μέση θερμοκρασία του πλανήτη μειώθηκε κατά 1 βαθμό Κελσίου και χαρακτηρίστηκε από μετακινήσεις πληθυσμών προς νότιες περιοχές κυρίως λαών κοντά στις πολικές περιοχές. Αυτή η περίοδος έχει συνδεθεί με μια μείωση της ηλιακής ακτινοβολίας εξαιτίας της μη εμφάνισης ηλιακών κηλίδων. Στη συνέχεια από τις αρχές του 19^{ου} αιώνα έως σήμερα η μέση θερμοκρασία του πλανήτη αυξάνεται με τις γνωστές συνέπειες που βιώνουμε σήμερα. Ενδεικτικό της αύξησης της

θερμοκρασίας είναι ότι η μέση θερμοκρασία του πλανήτη έχει αυξηθεί κατά 5 °C σε σχέση με αυτή της προηγούμενης περιόδου . Στη συνέχεια παρουσιάζεται ένα διάγραμμα που δείχνει την διακύμανση της μέσης θερμοκρασίας του πλανήτη την τελευταία χιλιετία (Διάγραμμα 4).



Διάγραμμα 4. Διακύμανση της μέσης θερμοκρασίας τα τελευταία 1200 χρόνια στην Ευρώπη (Πηγή: Πανελλήνιο σχολικό δίκτυο)

2.5 Επιδράσεις του Φαινομένου του Θερμοκηπίου

Όπως αναφέρθηκε και παραπάνω το Φαινόμενο του Θερμοκηπίου αποτελεί το βασικό παράγοντα εμφάνισης της κλιματικής αλλαγής. Είναι σημαντικό να αναγνωρίσει κανείς ότι, παρόλο που η μικρή αύξηση στη μέση θερμοκρασία της Γης λόγω του φαινομένου του θερμοκηπίου μπορεί να θεωρείται μικρής σημασίας, από την άλλη πλευρά μπορεί να κινητοποιήσει πολλές αλλαγές που θα μπορούσαν να επιφέρουν σημαντικές επιπτώσεις ιδίως στο κλίμα μιας περιοχής, αλλά και στο φυσικό και ανθρωπογενές περιβάλλον. Υποστηρίζεται ότι ακόμη και αν υπήρχε τρόπος να σταματήσουν σήμερα όλες οι εκπομπές των αερίων που προκαλούν το φαινόμενο του θερμοκηπίου, οι αλλαγές στο κλίμα καθώς και οι επιπτώσεις από αυτές δε θα σταματήσουν.

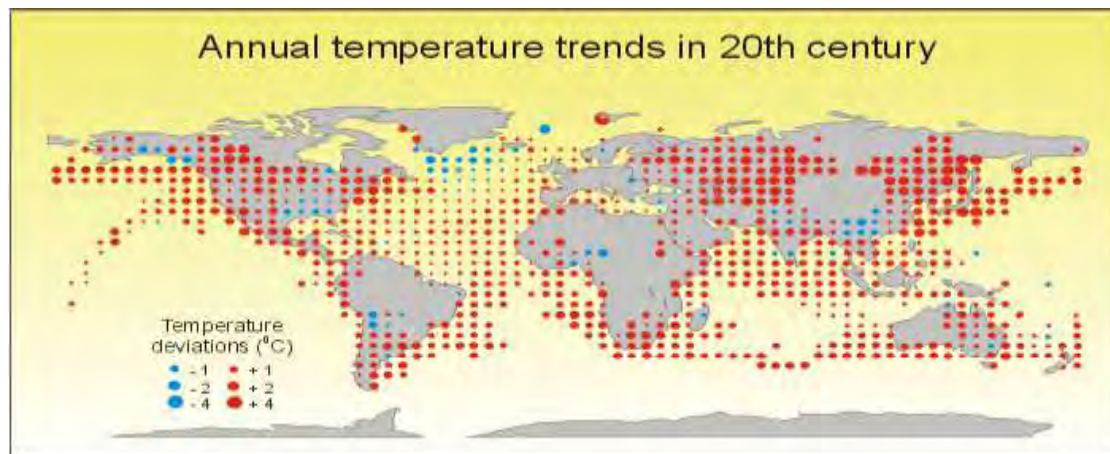
Στη συνέχεια αναφέρονται οι αναμενόμενες επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής τόσο στο φυσικό όσο και στο ανθρωπογενές περιβάλλον, σύμφωνα με απόψεις και επιστημονικά δεδομένα που έχουν διατυπωθεί.

2.5.1 Μεταβολή της Θερμοκρασίας

Η εμφάνιση της κλιματικής αλλαγής γίνεται αντιληπτή κατά κύριο λόγο από την αύξηση της θερμοκρασίας, η οποία αποτελεί και το βασικό παράγοντα πρόκλησης των υπολοίπων αρνητικών επιδράσεων της κλιματικής αλλαγής. Η παγκόσμια ατμοσφαιρική θερμοκρασία είναι αποτέλεσμα της ανταγωνιστικής δράσης των παραγόντων που προκαλούν θέρμανση και ψύξη της επιφάνειας της Γης. Το τελικό αποτέλεσμα σαφώς και διαφέρει από περιοχή σε περιοχή. Επίσης η ανταγωνιστική δράση των παραπάνω παραγόντων επιφέρει αβεβαιότητα στις προβλέψεις για το τι πρόκειται να συμβεί στο μέλλον καθώς η ποσότητα των αερίων του θερμοκηπίου στην ατμόσφαιρα συνεχίζει να αυξάνεται.

Σύμφωνα με έκθεση του IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) η μέση παγκόσμια θερμοκρασία (υπολογίζεται ως η μέση θερμοκρασία της ατμόσφαιρας κοντά στην επιφάνεια τόσο της ξηράς όσο και της θάλασσας) έχει αυξηθεί από το 1861. Κατά τη διάρκεια του 20^{ου} αιώνα η αύξηση ήταν περίπου 0.6°C. Η τιμή αυτή είναι μεγαλύτερη κατά 0,15°C σε σχέση με τις εκτιμήσεις της 2ης Έκθεσης του IPCC για τη χρονική περίοδο μέχρι το 1994 εξαιτίας των υψηλών παρατηρούμενων θερμοκρασιών τα χρόνια 1995-2000 αλλά και των βελτιωμένων μεθόδων επεξεργασίας των δεδομένων. Βέβαια θα πρέπει να σημειωθεί ότι υπάρχει μεγάλη διακύμανση κατά τη διάρκεια του 20^{ου} αιώνα αλλά η τάση αύξησης είναι σαφής. Επιπλέον υποστηρίζεται ότι σε παγκόσμιο επίπεδο η δεκαετία 1990 ήταν η θερμότερη του 20^{ου} αιώνα.

Όπως φαίνεται και στο σχήμα η αύξηση της θερμοκρασίας παγκοσμίως τον 20^ο αιώνα είναι εμφανής. Οι αναλύσεις των δεδομένων αποδεικνύουν ότι η αύξηση της θερμοκρασίας στο βόρειο ημισφαίριο για τον 20^ο αιώνα πιθανόν να ήταν η μεγαλύτερη σε σχέση με τους προηγούμενους αιώνες για τα τελευταία 1000 χρόνια. Το ίδιο ισχύει και για την δεκαετία 1990.



Σχήμα 5. Αύξηση θερμοκρασίας της Γης τον 20^ο αιώνα (Πηγή:Χαρβαλιάς Ιωάννης).

Επίσης ας σημειωθεί ότι η μέση θερμοκρασία της Γης επηρεάζεται και από άλλους παράγοντες όπως η ερημοποίηση, αποψίλωση του εδάφους, οι οποίοι επιδρούν στην κλιματική αλλαγή. Μια αύξηση της μέσης θερμοκρασίας της Γης μπορεί να επιφέρει σημαντικές επιπτώσεις στην ξηρά. Ένα προφανές συμπέρασμα είναι ότι θα υπάρχουν περισσότερες «θερμές» και λιγότερες «ψυχρές» μέρες. Αυτό θα μπορούσε να έχει διαφορετικές επιπτώσεις σε διαφορετικές περιοχές. Περισσότερες θερμές μέρες σε περιοχές με ήδη υψηλές θερμοκρασίες θα μπορούσε να επιφέρει μεγαλύτερη πίεση στα φυτά, ζώα, ακόμη και στους ανθρώπους. Εύκρατα κλίματα μπορούν να εξαπλωθούν προς βόρεια, ενώ περιοχές με ήδη εύκρατο κλίμα να αποκτήσουν θερμά και ξηρά κλίματα. (Χαρβαλιάς Ιωάννης, 2011)

2.5.2 Κατακρημνίσεις

Ένα άλλο σημαντικό αποτέλεσμα της κλιματικής αλλαγής είναι η μεταβολή των ιδιοτήτων των κατακρημνίσεων που επικρατούν σε μια περιοχή. Για παράδειγμα η συχνότητα των βροχοπτώσεων μπορεί να μεταβληθεί, οι ξηρασίες μπορεί να έχουν μεγαλύτερη ένταση, ενώ η παρατεταμένη βροχόπτωση μπορεί να προκαλέσει σημαντικά προβλήματα

Έχει διαπιστωθεί ότι οι κατακρημνίσεις στην περιοχή του Ισημερινού έχουν μειωθεί σημαντικά τον 20^ο αιώνα. Παρόλα αυτά για τις υπόλοιπες ηπειρωτικές περιοχές, ιδιαίτερα στα μεσαία και μεγάλα γεωγραφικά πλάτη τόσο του Βορείου και του Νοτίου ημισφαιρίου, συμπεραίνεται ότι οι κατακρημνίσεις έχουν αυξηθεί για τον

20^ο αιώνα. Σύμφωνα με έκθεση του IPCC, είναι πιθανόν οι κατακρημνίσεις να έχουν αυξηθεί κατά 0,5 ως και 1% ανά δεκαετία του ίδιου αιώνα στα μεσαία και μεγάλα γεωγραφικά πλάτη του Βορείου ημισφαιρίου. Αντίθετα εκτιμάται ότι οι βροχοπτώσεις έχουν μειωθεί κατά περίπου 0.3% ανά δεκαετία του 20^{ου} στις ηπειρωτικές υποτροπικές περιοχές του βορείου ημισφαιρίου. Δεν υπάρχουν επαρκή στοιχεία για την τάση των κατακρημνίσεων στους ωκεανούς. Επίσης αναφέρεται ότι στα μεσαία και μεγάλα γεωγραφικά πλάτη του βόρειου ημισφαιρίου στο δεύτερο μισό του 20^{ου} αιώνα παρατηρήθηκε αύξηση κατά 2 ως 4% στη συχνότητα εμφάνισης εντόνων κατακρημνίσεων. Η αύξηση αυτή αποδίδεται σε διάφορους λόγους, όπως αλλαγές στην ατμοσφαιρική υγρασία, στις μεγάλης διάρκειας καταιγίδες κτλ. Εξάλλου ας σημειωθεί ότι σε μερικές περιοχές της Ασίας και της Αφρικής η συχνότητα και η ένταση εμφάνισης ξηρασίας έχει σημειώσει αύξηση τις τελευταίες δεκαετίες (Πηγή: Ευρωπαϊκή Ένωση, <http://ec.europa.eu>).

Από τα παραπάνω διαπιστώνεται ότι μέχρι τώρα δεν έχει παρατηρηθεί σαφής τάση μεταβολής στις κατακρημνίσεις. Παρόλα αυτά, υποθέτοντας ότι ο πλανήτης θα θερμανθεί κατά 1 - 3,5 °C για τα επόμενα 100 χρόνια, τα κλιματικά μοντέλα υπολογίζουν ότι τα φαινόμενα της εξάτμισης και της κατακρήμνισης θα ενταθούν, όπως και η συχνότητα των έντονων βροχοπτώσεων. Επίσης αναμένεται οι βροχοπτώσεις και οι χιονοπτώσεις να αυξηθούν σε μεγαλύτερα γεωγραφικά πλάτη κατά τη διάρκεια του χειμώνα.

Με τη σειρά τους οι έντονες και συνεχείς βροχοπτώσεις και χιονοπτώσεις μπορούν να επηρεάσουν τόσο το φυσικό περιβάλλον (οικοσυστήματα, στάθμη της θάλασσας), όσο και το ανθρωπογενές (κοινωνία, οικονομία).

2.5.3 Ανύψωση της στάθμης της θάλασσας

Η στάθμη της θάλασσας λόγω της κλιματικής αλλαγής θα ανέλθει για δύο λόγους. Από την διπλωματική εργασία του Χαρβαλιά Ιωάννη (2011) παίρνουμε τις παρακάτω πληροφορίες. Πρώτον, εξαιτίας των υψηλότερων θερμοκρασιών, το νερό που είναι αποθηκευμένο στους πάγους θα λιώσει, προσθέτοντας επιπλέον νερό στους ωκεανούς. Δεύτερον, η αύξηση της θερμοκρασίας, ως γνωστόν προκαλεί αύξηση του όγκου του νερού, επιβάλλοντας στο νερό των ωκεανών κατά τον ίδιο τρόπο να καταλαμβάνει περισσότερο χώρο, προκαλώντας περαιτέρω ανύψωση της στάθμης

της θάλασσας. Αυτό μπορεί να επιφέρει πλημμύρες σε διάφορες παράκτιες περιοχές μέχρι και πλήρη και μόνιμη κάλυψη αυτών. Επίσης αναμένεται ότι η μορφολογία της ξηράς θα μεταβληθεί σε μερικές νησιωτικές χώρες, όπως το Μπαγκλαντές, λόγω της ανύψωσης της στάθμης της θάλασσας. Η μέση παγκόσμια στάθμη της θάλασσας έχει αυξηθεί από 10 ως 25cm τα τελευταία 100 χρόνια. Είναι πιθανόν ότι αυτή η αύξηση σχετίζεται με την αύξηση της μέσης θερμοκρασίας από το 1860 και μετά. Από τα κλιματικά μοντέλα έχει υπολογιστεί ότι η στάθμη της θάλασσας μπορεί να αυξηθεί περίπου κατά 15 ως 95cm μέχρι το έτος 2100. Η αύξηση της στάθμης της θάλασσας αναμένεται 2 ως 5 φορές μεγαλύτερη από την παρατηρούμενη τα τελευταία 100 χρόνια. Το ποσοστό, το εύρος και η κατεύθυνση της αύξησης της στάθμης της θάλασσας θα διαφέρει από περιοχή σε περιοχή και θα εξαρτώνται από τα χαρακτηριστικά της παράκτιας περιοχής, τις αλλαγές στα ρεύματα των ωκεανών, από τις διαφορές των χαρακτηριστικών των παλιρροιών, της πυκνότητας της θάλασσας και των κατακόρυφων μετακινήσεων της ξηράς. Επίσης αξίζει να σημειωθεί ότι η στάθμη της θάλασσας αναμένεται να συνεχίζει να αυξάνεται για τους επόμενους αιώνες, ακόμα και όταν οι ατμοσφαιρικές θερμοκρασίες σταθεροποιηθούν.

Η αναμενόμενη αύξηση της στάθμης της θάλασσας αναμένεται να πλήξει τις παράκτιες ζώνες, τις πιο ευάλωτες περιοχές και ειδικότερα τις αναπτυσσόμενες χώρες, επιφέροντας σημαντική απώλεια της ξηράς. Επίσης, σημαντική θα είναι η επιδείνωση που θα παρατηρηθεί στην επέκταση της διάβρωσης των παρακτίων περιοχών και στην εμφάνιση πλημμύρων. Τα μέχρι τώρα στοιχεία δείχνουν ότι πιο επικίνδυνοι είναι οι πάγοι της Γροιλανδίας καθώς είναι πιο ευάλωτοι στις μεταβολές της θερμοκρασίας. Αντίθετα με τη Γροιλανδία, η Ανταρκτική δεν παρουσιάζει μεγάλο κίνδυνο, τουλάχιστον μέχρι τώρα. Μελέτες έχουν δείξει ότι, οι πάγοι της Ανταρκτικής, που είναι στην πλειοψηφία τους χερσαίοι, παρουσίασαν εξαιρετική σταθερότητα κατά το παρελθόν και δεν έπαιξαν σημαντικό ρόλο στις διακυμάνσεις της στάθμης της θάλασσας. Πρόσφατες όμως παρατηρήσεις από δορυφόρους έδειξαν ότι και οι Ανταρκτικοί πάγοι έχουν παρουσιάσει ύφεση και μερικά κομμάτια έχουν ήδη αρχίσει να λιώνουν.

Δεδομένου ότι η Ανταρκτική φιλοξενεί σχεδόν το 90% των συνολικών μόνιμων πάγων και το 70% των παγκοσμίων αποθεμάτων γλυκού νερού, σε περίπτωση ολικής τήξης, η άνοδος της θαλάσσιας στάθμης θα φθάσει περίπου τα 60 μέτρα. Τήξη μόνο του παγετώνα της δυτικής Ανταρκτικής, ο οποίος δεν επιπλέει αλλά στηρίζεται στην υφαλοκρηπίδα και αποτελεί τον τελευταίο του είδους του, θα

προκαλέσει άνοδο κατά 6 μέτρα. Εδώ θα πρέπει να σημειωθεί ότι, λόγω διαφορετικής χρονικής απόκρισης της θάλασσας σε σχέση με την ατμόσφαιρα, η άνοδος της στάθμης των ωκεανών θα συνεχίσει για αρκετές δεκαετίες αφότου σταματήσει η θέρμανση.

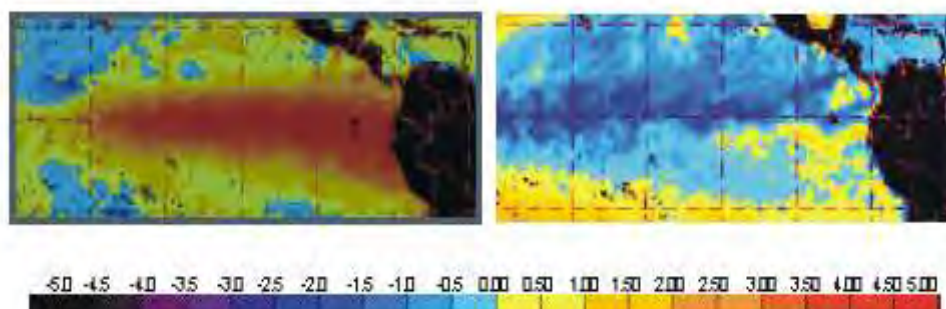
2.6 Το Φαινόμενο El Nino – La Nina

Στις δυτικές ακτές της Νότιας Αμερικής, στον τροπικό Ειρηνικό Ωκεανό, επικρατεί συνήθως ένα ψυχρό ρεύμα το οποίο κατευθύνεται προς τα βόρεια. Άνεμοι νοτίων διευθύνσεων οδηγούν στην επιφάνεια ψυχρό, πλούσιο σε θρεπτικές ουσίες νερό το οποίο ευνοεί την ανάπτυξη μεγάλων πληθυσμών ψαριών. Περιστασιακά όμως, εμφανίζεται ένα θερμό θαλάσσιο ρεύμα με κατεύθυνση τις νοτιοδυτικές ακτές της Νότιας Αμερικής, το οποίο είναι φτωχό σε θρεπτικές ουσίες και ψάρια. Αυτό το θερμό ρεύμα γίνεται αντιληπτό στο Περού περίπου την περίοδο των Χριστουγέννων, γι' αυτό οι ψαράδες της περιοχής το ονόμασαν El Nino, που σημαίνει «το Θείο Βρέφος». Τα περισσότερα χρόνια, η θέρμανση διαρκεί μόνο για μερικές εβδομάδες (ως ένα μήνα) πριν η κατάσταση επανέλθει σε φυσιολογικά επίπεδα. Κάποιες χρονιές όμως, το φαινόμενο, έχει μεγαλύτερη ένταση και συνεχίζεται για αρκετούς μήνες οδηγώντας τους τοπικούς ψαράδες σε απόγνωση αλλά και δημιουργώντας, όπως θα αναλύσουμε παρακάτω, διαταραχές στη γενική κυκλοφορία της ατμόσφαιρας. Τα επεισόδια αυτά συμβαίνουν με μια περιοδικότητα 2-7 χρόνια και ονομάζονται Μεγάλα Επεισόδια El Nino (αν και πολλές φορές ονομάζονται απλώς El Nino). Χαρακτηριστικά αναφέρονται τα Μεγάλα Επεισόδια τις περιόδους 1982-83 και 1997-98. Κατά τη διάρκεια του El Nino, για λόγους που ακόμα παραμένουν άγνωστοι, η ατμοσφαιρική πίεση στον δυτικό Ειρηνικό αυξάνεται και στα ανατολικά ελαττώνεται, ενώ συνήθως επικρατούν οι αντίστροφες συνθήκες. Η αναστροφή της κατανομής της πίεσης ονομάζεται Νότια Κύμανση και λόγω του γεγονότος ότι συμβαίνει σχεδόν ταυτόχρονα με το θερμό ωκεάνιο ρεύμα, οι επιστήμονες το ονομάζουν συχνά ENSO (El Nino / Southern Oscillation).

Μια τεράστια περιοχή του νότιου Ειρηνικού γίνεται το κέντρο ενός εκτεταμένου τροπικού συστήματος, που τροποποιεί τη γενική κυκλοφορία της ατμόσφαιρας. Λόγω αλλαγής της κυκλοφορίας, τα θερμά νερά του δυτικού Ειρηνικού κινούνται ανατολικά προς τις ακτές της νοτίου Αμερικής ανεβάζοντας τις θερμοκρασίες της θάλασσας μέχρι και 7°C. Η αύξηση αυτή εμποδίζει τα ψάρια, που

αποτελούν την κυριότερη πλουτοπαραγωγική πηγή των περιοχών αυτών, να ανέβουν σε μικρά βάθη και έτσι η αλιεία υφίσταται μεγάλες απώλειες στη διάρκεια του El Nino. Τα θερμά νερά παρασύρουν μαζί τους μεγάλα σύννεφα βροχής. Όσο πιο υψηλή είναι η θερμοκρασία τόσο περισσότερες και εντονότερες είναι οι βροχές, οι οποίες πλημμυρίζουν τις περιοχές αυτές και προκαλούν πολλές καταστροφές.

Αντίθετα, στις δυτικές περιοχές του Ειρηνικού, όπου κανονικά θα υπήρχαν βροχές (περίοδος μουσώνων), επικρατεί ξηρασία, μέχρι και τις ακτές της ανατολικής Αφρικής. Όλες οι περιοχές, από την Αιθιοπία και το Σουδάν μέχρι την Ινδία, το Βόρνεο και την Αυστραλία, υπόκεινται σε εξοντωτική ξηρασία. Το El Nino αποτελεί τη μεγαλύτερη μεμονωμένη καιρική διαταραχή στον πλανήτη και είναι η μεγαλύτερη αιτία μεταβλητότητας του κλίματος. Η εμφάνιση του συνοδεύεται από καταστροφικές πλημμύρες και ξηρασίες, στις διαφορετικές πλευρές του Ειρηνικού. Η έξαρση του φαινομένου, τα τελευταία χρόνια, οδηγεί στην σύνδεσή του με το φαινόμενο του θερμοκηπίου και την επακόλουθη κλιματική αλλαγή. Μετά τη λήξη των επεισοδίων El Nino η κατάσταση συνήθως επανέρχεται στα φυσιολογικά της επίπεδα. Σε μερικές περιπτώσεις, όμως, το θαλάσσιο ρεύμα, το οποίο αντικαθιστά το El Nino, είναι ιδιαίτερα ψυχρό δημιουργώντας τις αντίθετες συνθήκες και ονομάζεται La Nina. (Πηγή: <http://el.wikipedia.org>)



Σχήμα 6: Η θερμοκρασία επιφανείας της θάλασσας κατά την διάρκεια ενός μεγάλου επεισοδίου El Nino τον Δεκέμβριο του 1997 (εικόνα στα αριστερά) και ενός επεισοδίου La Nina τον Μάρτιο του 2000 (εικόνα στα δεξιά). Η χρωματική κλίμακα δείχνει την απόκλιση της θερμοκρασίας της θάλασσας από την κανονική της τιμή.

2.7 Υδάτινοι πόροι

Στον όρο υδάτινοι πόροι συμπεριλαμβάνονται όλα τα αποθέματα γλυκού νερού που είναι ή μπορούν να μετατραπούν σε πόσιμο. Όπως είναι γνωστό, το νερό βρίσκεται στη φύση σε μεγάλη αφθονία και στις τρεις μορφές του (πάγος, νερό, ατμός) και οι μορφές αυτές βρίσκονται σε διαρκή μεταβολή, δημιουργώντας έναν από

τους γνωστότερους και σπουδαιότερους κύκλους στη φύση, τον κύκλο του νερού . Υπάρχουν δύο ειδών κινήσεις νερού. Η κατακόρυφη (βροχή – εξάτμιση) και η οριζόντια (επιφανειακά και υπόγεια ποτάμια). Στη διάρκεια της παρουσίας του στη Γη, ο άνθρωπος προσπάθησε επιτυχώς να εκμεταλλευτεί και τις δύο μετακινήσεις χωρίς να επηρεάσει σημαντικά ούτε την ποσότητα του νερού ούτε την πορεία του. Τι θα γίνει όμως ενόψει της κλιματικής αλλαγής;

Κάθε μεταβολή στη θερμοκρασία επηρεάζει την κατανομή του νερού, κυρίως των βροχοπτώσεων. Μια αύξηση της θερμοκρασίας θα οδηγήσει σε αύξηση των υδατοπτώσεων αλλά ταυτόχρονα θα έχουμε και περισσότερη εξάτμιση. Αν και δεν γνωρίζουμε ποιο φαινόμενο θα είναι ισχυρότερο το σίγουρο είναι ότι το αποτέλεσμα θα είναι ένας κόσμος υγρότερος. Τα κλιματικά μοντέλα, με τα οποία υπολογίζουμε τα χαρακτηριστικά της κλιματικής αλλαγής, δεν μπορούν να μας δώσουν ακριβείς προβλέψεις για την κατανομή της βροχής αλλά σε άλλες περιοχές αναμένεται μείωση της ενώ αλλού πιθανόν να αυξηθεί. Εξ' άλλου η βροχή είναι από τα πιο ανομοιογενή φυσικά φαινόμενα και ο υδρολογικός κύκλος είναι εξαιρετικά πολύπλοκος. Αλλαγή των βροχοπτώσεων επιδρά στην επιφανειακή υγρασία, ανακλαστικότητα και βλάστηση, τα οποία επηρεάζουν την εξάτμιση και τη δημιουργία νεφών. Επιπλέον, διάφορες ανθρώπινες δραστηριότητες μπορούν να επηρεάσουν τον κύκλο αυτό όπως π.χ. η καταστροφή των δασών ή η υπερκατανάλωση νερού. Μια πρώτη ποιοτική πρόβλεψη αναγγέλλει αύξηση της έντασης των βροχοπτώσεων ενώ τα ξηρά κλίματα θα παρουσιάσουν μεγαλύτερη ευαισθησία στον παραπάνω κύκλο ειδικά στον τομέα της εξάτμισης και διαπνοής από την τοπική βλάστηση. Όσον αφορά τα τροπικά κλίματα είναι τα πιο δύσκολα για προβλέψεις και μέχρι τώρα κάθε κλιματικό μοντέλο δίνει διαφορετικά αποτελέσματα για την ένταση και την κατανομή της τροπικής βροχόπτωσης. Συμπερασματικά θα μπορούσαμε να πούμε ότι, δεν υπάρχουν ισχυρές ενδείξεις για έλλειψη του νερού σε παγκόσμια κλίμακα. Αντίθετα, η ανισότροπη κατανομή του, η οποία ανέκαθεν υπήρχε, αναμένεται να ενισχυθεί. Το πρόβλημα αυτό μπορεί να αντιμετωπιστεί όχι μόνο με την εύρεση νέων υδάτινων πόρων αλλά κυρίως με τη βελτίωση των ήδη υπαρχόντων. Απαιτείται βελτίωση τόσο της ποιότητας και μεταφοράς του νερού όσο και των αντιπλημμυρικών έργων, αλλά κυρίως μια καλή διαχείριση του νερού ώστε να σταματήσει η άσκοπη σπατάλη του από τις αναπτυγμένες κυρίως χώρες.

2.8 Κλιματικές αλλαγές στην Ελλάδα

Σύμφωνα με τα αποτελέσματα της Διακυβερνητικής Επιτροπής για την Κλιματική Αλλαγή (IPCC) τα οποία δημοσιεύονται στο παρακάτω site, <http://climate.wwf.gr>, τα μέχρι τώρα αποτελέσματα των κλιματικών μοντέλων αλλά και διάφορες επιστημονικές έρευνες συνοψίζονται στις παρακάτω καταστάσεις: ανυπόφορες πόλεις, τουριστικοί προορισμοί με καύσωνες, δύσκολες μέρες για τη γεωργία, εθνικοί δρυμοί σε κίνδυνο. Συγκεκριμένα προβλέπεται ότι η μέση μέγιστη θερμοκρασία για την περίοδο 2071-2100, σε σχέση με τις τιμές της περιόδου 1961-1990, για το μήνα Ιούλιο αναμένεται να αυξηθεί σημαντικά σε ολόκληρη την περιοχή, κυρίως όμως σε χώρες των Βαλκανίων και ειδικά της Ελλάδας όπου η μέση μέγιστη θερμοκρασία θα αυξηθεί έως και 12 βαθμούς Κελσίου. Στις νότιες περιοχές της Ελλάδας - και στην Αττική - η άνοδος θα είναι της τάξης των 7-8 βαθμών, ενώ στην Κεντρική και Βόρεια Ελλάδα η άνοδος θα κυμαίνεται μεταξύ 8-10 βαθμών. Αλλά και στην ελάχιστη θερμοκρασία προβλέπεται αύξηση της μέσης τιμής σε ολόκληρη την περιοχή της Ανατολικής Μεσογείου, κυρίως όμως σε χώρες των Βαλκανίων όπου η μέση ελάχιστη θερμοκρασία για το μήνα Ιούλιο θα αυξηθεί έως και 9 βαθμούς. Στην Ελλάδα η άνοδος θα είναι της τάξης των 6-7 βαθμών στις νότιες περιοχές, ενώ στην Κεντρική και Βόρεια Ελλάδα η αύξηση θα κυμανθεί μεταξύ 7-8 βαθμών.

Σύμφωνα με τα αποτελέσματα της έρευνας του αστεροσκοπείου Αθηνών για της κατάσταση στο κλίμα της Ελλάδας μέχρι το 2050, η ήδη υπάρχουσα δυσφορία των κατοίκων στις πόλεις πρόκειται να ενταθεί. Οι κάτοικοι πόλεων όπως η Θεσσαλονίκη, η Πάτρα, η Λαμία και η Λάρισα θα υπόκεινται μέχρι και σε 20 περισσότερες ημέρες καύσωνα. Παράλληλα, σε Λαμία, Λάρισα, Βόλο, Θεσσαλονίκη και Αθήνα, η συνολική βροχόπτωση θα μειωθεί, αλλά αναμένεται να αυξηθούν κατά 10-20% οι ακραίες βροχοπτώσεις. Με άλλα λόγια φαίνεται πως αυξάνεται ο κίνδυνος τόσο για πλημμυρικά επεισόδια όσο και για εξάπλωση πυρκαγιών στα περιαστικά δάση.

Σημαντικά θα επηρεαστούν και οι τουριστικοί προορισμοί της χώρας μας. Από 5 έως και 15 περισσότερες θα είναι οι μέρες με καύσωνα στους υπό εξέταση τουριστικούς νομούς, ενώ θα αυξηθούν περαιτέρω και οι νύχτες όπου η θερμοκρασία δεν θα πέφτει κάτω από τους 20° C, κυρίως στις νησιωτικές περιοχές, όπως η Ρόδος και τα Χανιά (Zanis et al, 2008). Κάτι τέτοιο, σε συνδυασμό με υψηλά επίπεδα

υγρασίας, μπορεί να επιδεινώσει τις συνθήκες δυσφορίας. Ακόμη ένας αρνητικός παράγοντας είναι και η πρόβλεψη για σημαντική αύξηση του κινδύνου εξάπλωσης πυρκαγιάς στις υπό εξέταση τουριστικές περιοχές. Από την άλλη, η έρευνα δείχνει πως θα αυξηθούν, κατά σχεδόν ένα μήνα, οι ημέρες με θερμοκρασία άνω των 25° C, γεγονός που ενδέχεται να οδηγήσει σε επιμήκυνση της τουριστικής περιόδου.

Οι δέκα μεγαλύτεροι αγροτικοί νομοί της χώρας θα δεχθούν μεγάλη πίεση από την κλιματική αλλαγή, με αποτέλεσμα να αυξηθούν οι μέρες καύσωνα, οι συνεχόμενες ημέρες χωρίς βροχή, να μειωθούν οι χειμερινές βροχοπτώσεις και συνεπώς να αυξηθεί κατά πολύ ο κίνδυνος πυρκαγιάς. Για παράδειγμα, στην Εύβοια αναμένονται περισσότερες από 25 επιπλέον ξηρές ημέρες σε σχέση με σήμερα, οι Σέρρες και η Λάρισα θα ζήσουν 20 περισσότερες μέρες καύσωνα, ενώ στο Ηράκλειο και την Πέλλα οι βροχοπτώσεις το χειμώνα θα μειωθούν κατά 15%. Οποιαδήποτε πρόβλεψη για πιθανές βλάβες στις καλλιέργειες είναι παρακινδυνευμένη αλλά τα γενικά ευρήματα φανερώνουν αυξημένο κίνδυνο για ερημοποίηση νέων εκτάσεων και μείωση στη διαθεσιμότητα νερού.

Η κλιματική αλλαγή θα θέσει σε τρομερή δοκιμασία και τους Εθνικούς Δρυμούς, καθώς προβλέπεται αύξηση των ημερών με υψηλό ρίσκο εμφάνισης πυρκαγιάς σε όλη τη χώρα. Αυτό σημαίνει ότι πρέπει να είμαστε προετοιμασμένοι για να μπορέσουμε να αντιμετωπίσουμε τον υψηλό αριθμό πυρκαγιών που πρόκειται να εμφανιστούν.

3. Τα κλιματικά μοντέλα

Τα κλιματικά μοντέλα, που είναι γνωστά ως μοντέλα γενικής κυκλοφορίας ή Global Climate Models (GCM), είναι πολυσύνθετα μαθηματικά μοντέλα που δέχονται διάφορα δεδομένα ως είσοδο, όπως διοξείδιο του άνθρακα, ηλιακή ακτινοβολία, εξατμισοδιαπνοή και πολλά άλλα. Τα μοντέλα τρέχουν σε υπολογιστές, προσομοιώνοντας την εξέλιξη του κλίματος, και δίνουν ως αποτέλεσμα κυρίως τη θερμοκρασία και τη βροχόπτωση αλλά και τις άλλες μεταβλητές σε οποιαδήποτε

περιοχή του πλανήτη. Το επιχείρημα είναι πως όταν τα μοντέλα τρέχουν χωρίς την υποτιθέμενη ανθρώπινη επιρροή (δηλαδή όταν τρέχουν με την «κανονική» ή την «προβιομηχανική» συγκέντρωση διοξειδίου του άνθρακα στην ατμόσφαιρα), τότε δεν υπάρχει αύξηση της θερμοκρασίας. Όταν όμως τρέχουν με αυξημένες συγκεντρώσεις διοξειδίου του άνθρακα, τότε υπάρχει αύξηση της θερμοκρασίας στο τέλος του 20^{ου} αιώνα, η οποία συνεχίζεται σε όλο τον 21^ο. Αυτό αποδεικνύει ότι η πρόσφατη θέρμανση της γης, σε αντίθεση με προηγούμενες κλιματικές αλλαγές, οφείλεται στην ανθρώπινη δραστηριότητα και τα μοντέλα μπορούν να μας πουν πώς θα είναι το κλίμα μερικές δεκαετίες από τώρα.

Από την αναφορά της επιτροπής μελέτης επιπτώσεων των κλιματικών αλλαγών της Τράπεζας της Ελλάδος (2011) αναφέρουμε τα παρακάτω. Τα εργαλεία που χρησιμοποιούνται σήμερα για την προσομοίωση της κλιματικής αλλαγής είναι τα Συζευγμένα Ατμοσφαιρικά-Ωκεάνια Μοντέλα Γενικής Κυκλοφορίας (Coupled Atmospheric-Ocean General Circulation Models, AOGCMs). Πρόκειται για μοντέλα που βασίζονται στις βασικές φυσικές αρχές του γήινου συστήματος όπως οι βασικές εξισώσεις της μηχανικής των ρευστών και της διάδοσης της ακτινοβολίας. Τα AOGCMs χωρίζονται σε Ατμοσφαιρικά (AGCMs) και Ωκεάνια Μοντέλα Γενικής Κυκλοφορίας (OGCMs) ενώ μπορεί να είναι και συζευγμένα μεταξύ τους (AOGCMs) καθώς και με άλλα μοντέλα όπως τα μοντέλα προσομοίωσης της παγοκάλυψης στην ξηρά και την θάλασσα, της βιόσφαιρας (Denman et al., 2007) και άλλα.

Τα AOGCMs που χρησιμοποιούνται για τη μελέτη του κλίματος και της κλιματικής αλλαγής παρουσιάζουν ομοιότητες με τα μοντέλα που χρησιμοποιούνται για την καιρική πρόγνωση λίγων ημερών. Η διαφορά είναι ότι τα μοντέλα πρόγνωσης του καιρού δίνουν έμφαση σε διαφορετικά στοιχεία αφού χρησιμοποιούνται με διαφορετικό σκοπό και σε διαφορετικές χρονικές κλίμακες. Συγκεκριμένα τα κλιματικά AOGCMs δίνουν μεγαλύτερη έμφαση στις διεργασίες του εδάφους, του ωκεανού και των παγετώνων καθώς και στην ισορροπία των διεργασιών μεγάλης χρονικής κλίμακας όπως ο υδρολογικός κύκλος.

Η γνώση ορισμένων φυσικών διεργασιών είναι ακόμα περιορισμένη. Για το λόγο αυτό στις κλιματικές προσομοιώσεις χρησιμοποιούνται παραμετροποιήσεις και απλουστεύσεις ορισμένων φαινομένων. Η χωρική ανάλυση των AOGCMs στις μέρες μας, εξαιτίας των περιορισμένων υπολογιστικών δυνατοτήτων, είναι της τάξης των εκατοντάδων χιλιομέτρων (Mearns et al., 2001). Σε αυτή τη χωρική ανάλυση είναι

δυνατόν να αναπαραχθούν ικανοποιητικά η γενική κυκλοφορία σε ολόκληρο τον πλανήτη καθώς και τα γενικά χαρακτηριστικά των διαφόρων κλιματικών παραμέτρων σε συνοπτική κλίμακα. Ωστόσο δεν είναι δυνατόν να προσομοιωθούν με ακρίβεια φαινόμενα που σχετίζονται με την επίδραση της τοπογραφίας σε τοπική και περιοχική κλίμακα .

Οι τεχνικές με τις οποίες εισάγεται η περιοχική πληροφορία στις κλιματικές προσομοιώσεις ονομάζονται τεχνικές υποβιβασμού κλίμακας (υποκλιμάκωσης) και χωρίζονται σε τρεις κατηγορίες: 1) Τα υψηλής ή μεταβλητής ανάλυσης παγκόσμια ατμοσφαιρικά μοντέλα γενικής κυκλοφορίας, 2) τις στατιστικές ή εμπειρικές μεθόδους υποκλιμάκωσης (Statistical/Empirical Downscaling) και 3) τη δυναμική υποκλιμάκωση. Η δυναμική υποκλιμάκωση βασίζεται στη χρήση των περιοχικών κλιματικών μοντέλων (Regional Climate Models, RCMs).

Πρόκειται για μοντέλα περιορισμένου πεδίου και υψηλής ανάλυσης τα οποία βασίζονται στη δυναμική υποκλιμάκωση και αναπτύχθηκαν προκειμένου να εισαχθεί η περιοχική πληροφορία στα μεγάλης κλίμακας πεδία που παρέχονται από τα GCMs ή που προκύπτουν από επανα-ανάλυση (Dickinson et al., 1989, Giorgi, 1990). Για να λειτουργήσουν είναι απαραίτητο να τους παρέχονται αρχικές συνθήκες σε ολόκληρο το πεδίο τους, χρονομεταβαλλόμενες οριακές συνθήκες στα πλευρικά τους όρια και επιφανειακές οριακές συνθήκες. Οι πλευρικές οριακές συνθήκες προέρχονται από προσομοιώσεις με GCMs ή από ανάλυση παρατηρήσεων. Δέχονται επίσης, όπως και τα AOGCMs, δεδομένα εισόδου συγκέντρωσης αερίων θερμοκηπίου και συγκέντρωσης αερολυμμάτων. Συνήθως αποτελούνται από ένα ατμοσφαιρικό μοντέλο συζευγμένο με ένα μοντέλο του εδάφους. Οι συνθήκες στην επιφάνεια του ωκεανού παρέχονται μαζί με τις χρονομεταβαλλόμενες πλευρικές οριακές συνθήκες, ωστόσο γίνονται απόπειρες να συζευχθούν και με ένα ωκεάνιο μοντέλο αντίστοιχης (υψηλής) χωρικής ανάλυσης. Επιπρόσθετα είναι δυνατό να συζευχθούν με μοντέλα της υδρολογίας, των πάγων της θάλασσας (sea-ice) της χιμείας της ατμόσφαιρας/αερολυμμάτων και της βιόσφαιρας.

Γενικά δεν αλληλεπιδρούν με το GCM που τους παρέχει τις πλευρικές οριακές συνθήκες. Λόγω των μικρών τους απαιτήσεων σε υπολογιστικούς πόρους μπορούν να πραγματοποιούν προσομοιώσεις διάρκειας μερικών δεκαετιών σε αρκετά υψηλή ανάλυση, μέχρι και κάτω από τα 10km. Με αυτό τον τρόπο πετυχαίνουν να υποκλιμακώσουν την πληροφορία από τα αποτελέσματα των GCMs που περιέχει την γενική κυκλοφορία η οποία οφείλεται στα μεγάλης κλίμακας παράγοντες και να την

εμπλουτίσουν χάρη (α) στην καλύτερη αναπαράσταση της τοπογραφίας (λόγω της υψηλότερης ανάλυσης) και (β) στην δυνατότητα αναπαράστασης διεργασιών μικρότερης κλίμακας οι οποίες δεν μπορούν να προσομοιωθούν στην κλίμακα των GCMs.

Τα περιοχικά μοντέλα χρησιμοποιούνταν ήδη από παλιά στην αριθμητική πρόγνωση καιρού, βελτιώθηκαν από τους Dickinson et al. (1989) και Giorgi (1990) και έκτοτε χρησιμοποιούνται σε πολλές εφαρμογές. Τα RCMs διαθέτουν πολλές υπορουτίνες για την προσομοίωση των φυσικών διεργασιών που είτε συμβαίνουν σε κλίμακα μικρότερη από την κλίμακα που μπορούν να αναλύσουν, όπως οι διεργασίες του ατμοσφαιρικού οριακού στρώματος, είτε ξεφεύγουν από την φυσική των εξισώσεων Navier-Stokes που αποτελούν τον βασικό πυρήνα τους, όπως οι υπορουτίνες της ακτινοβολίας, είτε και τα δυο. Όλες αυτές οι υπορουτίνες διαθέτουν μια σειρά από παραμέτρους τις οποίες ο χρήστης του μοντέλου μπορεί να μεταβάλλει ανάλογα με τη γεωγραφική περιοχή, το μέγεθος και την ανάλυση του πλέγματος. Πριν από τις κυρίως προσομοιώσεις του ο χρήστης πρέπει να πραγματοποιήσει μερικές δοκιμαστικές προσομοιώσεις προκειμένου να εξετάσει αν η επιλογή των παραμέτρων του μοντέλου οδηγεί σε αληθοφανή αποτελέσματα. Αυτές οι προσομοιώσεις πραγματοποιούνται με δεδομένα από επανανάλυση ώστε στη συνέχεια τα αποτελέσματά να μπορούν να επαληθευτούν με δεδομένα παρατηρήσεων. Η διαδικασία αυτή ονομάζεται ρύθμιση του μοντέλου (tuning).

Βασικό πλεονέκτημα των RCMs είναι ότι, όπως αναφέρθηκε παραπάνω, περιγράφουν με μεγαλύτερη ακρίβεια τα χαρακτηριστικά της επιφάνειας όπως την ορογραφία, την κατανομή ξηράς και θάλασσας και την χρήση της γης, τα οποία δεν είναι δυνατό να παρασταθούν ακόμα στις προσομοιώσεις των GCMs επειδή οι διαστάσεις τους είναι μικρότερες από τις διαστάσεις του πλέγματος του GCM. Επιπρόσθετα η αυξημένη χωρική ανάλυση των RCMs επιτρέπει να αναλύονται φαινόμενα μικρότερης χωρικής κλίμακας που δεν αναλύονται από τα GCMs. Με αυτό τον τρόπο μπορούν να προσομοιώσουν τη λειτουργία μηχανισμών ανάδρασης που δρουν σε περιοχική κλίμακα. Το κυριότερο μειονέκτημά τους είναι ότι αν τα αποτελέσματα του GCM που παρέχει τις οριακές συνθήκες είναι εσφαλμένα το ίδιο θα ισχύσει και για τα αποτελέσματα του RCM. Αυτό το μειονέκτημα ισχύει για όλες τις τεχνικές υποκλιμάκωσης. Επίσης μειονέκτημα αποτελεί η έλλειψη της δυνατότητας αλληλεπίδρασης με το GCM. Η ανάγκη ρύθμισης τους, είναι ένα ακόμα μειονέκτημα διότι μπορεί να αποδειχτεί διαδικασία χρονοβόρα και επίπονη.

Θα πρέπει να τονιστεί ότι η εκτίμηση των κλιματικών συνθηκών που θα επικρατήσουν στο μέλλον σε ένα τόπο εμπεριέχει πολλούς παράγοντες αβεβαιότητας οι σημαντικότεροι από τους οποίους είναι:

1. Η επιλογή του σεναρίου εκπομπής θερμοκηπικών αερίων βάσει του οποίου γίνεται η προσομοίωση του μελλοντικού κλίματος
2. Η επιλογή του GCM με το οποίο θα διεξαχθούν οι κλιματικές προσομοιώσεις
3. Η επιλογή του RCM στην περίπτωση που χρησιμοποιείται μεθοδολογία δυναμικής υποκλιμάκωσης και
4. η επιλογή των αρχικών συνθηκών της κλιματικής προσομοίωσης του GCM δεδομένα του οποίου χρησιμοποιούνται ως δεδομένα εισόδου του RCM.

Μια συνήθης πρακτική, που χρησιμοποιείται προκειμένου να μειωθούν οι αβεβαιότητες που οφείλονται στις διαφορετικές παραμετροποιήσεις και τους διαφορετικούς δυναμικούς κώδικες που χρησιμοποιούνται από τα διαφορετικά κλιματικά μοντέλα αλλά και στην αβεβαιότητα των συγκεντρώσεων των αερίων του θερμοκηπίου στο μέλλον, είναι το να αναλύονται αποτελέσματα ενός συνόλου από προσομοιώσεις διαφορετικών κλιματικών μοντέλων και για διάφορα σενάρια εκπομπών.

3.1 Το πρόγραμμα PRUDENCE

Το Ευρωπαϊκό πρόγραμμα PRUDENCE πραγματοποιήθηκε κατά την χρονική περίοδο 1η Νοεμβρίου 2001 – 31 Οκτωβρίου 2004, και είχε ως βασικό σκοπό τον προσδιορισμό των κινδύνων και των συνεπειών που θα προκαλέσουν οι κλιματικές αλλαγές εξαιτίας των ανθρωπογενών εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου στην Ευρώπη. Η εκτίμηση αυτή βασίστηκε σε προσομοιώσεις του παρόντος και του μελλοντικού κλίματος που πραγματοποιήθηκαν με τη χρήση κλιματικών προτύπων προσομοίωσης (Models) υπό διάφορα σενάρια εκπομπών των αερίων του θερμοκηπίου. Στην αρχή έγινε επαλήθευση και πραγματοποιήθηκαν διορθώσεις στα μοντέλα με βάση τα δεδομένα της περιόδου 1961 – 1990 και στη συνέχεια έγινε η μελέτη των κλιματικών δεδομένων την περίοδο 2071 – 2100 (Επιτροπή Μελέτης Επιπτώσεων κλιματικής αλλαγής Τράπεζας της Ελλάδος ,2011).

Προκειμένου η χωρική ανάλυση των εκτιμώμενων κλιματικών μεταβολών να είναι υψηλή χρησιμοποιήθηκαν μέθοδοι δυναμικής υποκλιμάκωσης. Πιο συγκεκριμένα τα ανά εξάωρο δεδομένα εξόδου των AOGCMs, HadAM3H, ECHAM4, ECHAM5 και Agrège, χρησιμοποιήθηκαν ως δεδομένα εισόδου στις προσομοιώσεις που πραγματοποιήθηκαν από ένα σύνολο RCMs χωρικής ανάλυσης $0.5^{\circ} \times 0.5^{\circ}$ που αναπτύχθηκαν για τις ανάγκες του προγράμματος (Prudence final report, 2005) .

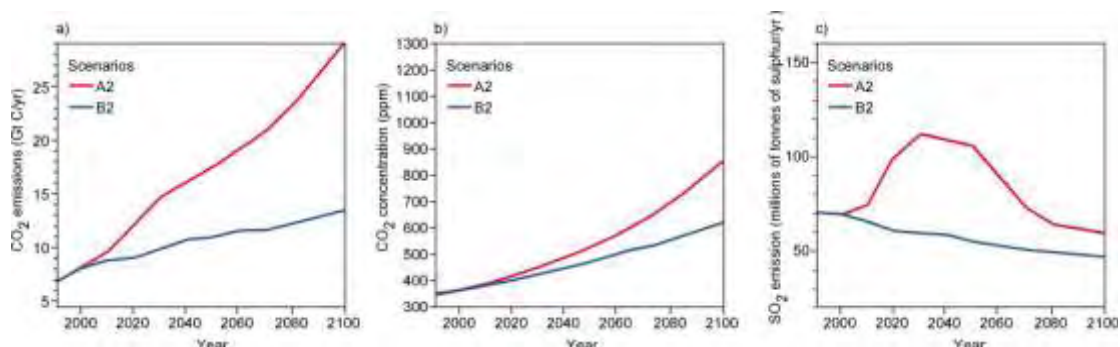
Για την λειτουργία των GCM's πρέπει να είναι αναγκαίο να τους δοθούν οι συνθήκες που επικρατούν στην ατμόσφαιρα αλλά και στους ωκεανούς μια συγκεκριμένη χρονική στιγμή ώστε να τις «τρέξουν» και να βγάλουν τα αποτελέσματα. Έτσι διαμορφώθηκαν κάποια σενάρια. Η διαμόρφωση των συγκεκριμένων σεναρίων στηρίχτηκε σε ορισμένους βασικούς άξονες που σχετίζονται με την εξέλιξη του παγκόσμιου πληθυσμού, τις πολιτικές που θα ακολουθηθούν γύρω από θέματα ενέργειας, το ρυθμό της οικονομικής ανάπτυξης, τη μελλοντική τεχνολογική ανάπτυξη καθώς και το κατά πόσο οι αποφάσεις γύρω από οικονομικά, κοινωνικά και περιβαλλοντικά ζητήματα λαμβάνονται σε τοπικό ή διεθνές επίπεδο. Βάσει της βαρύτητας του κάθε ενός από τους παράγοντας που αναφέραμε, τα διάφορα σενάρια εκπομπών ταξινομήθηκαν σε έξι ομάδες σεναρίων, η καθεμία των οποίων περιλαμβάνει παρόμοια σενάρια εκπομπών. Οι κατηγορίες αυτές είναι οι εξής: η οικογένεια σεναρίων **A1** που χωρίζεται σε 3 υποκατηγορίες: τις **A1F**, **A1B** και **A1T**, η οικογένεια σεναρίων **A2**, η οικογένεια σεναρίων **B1** και η οικογένεια σεναρίων **B2**. Στο Κέντρο Ερεύνες Φυσικής της Ατμόσφαιρας και Κλιματολογίας της Ακαδημίας Αθηνών (ΚΕΦΑΚ) έχουν αναπτυχθεί βάσεις δεδομένων και προσομοιώσεων μοντέλων με βάσει τα σενάρια εκπομπών **A2**, **A1B**, **B2** και **B1**. Στον πίνακα 2 αναφέρονται συνοπτικά τα χαρακτηριστικά των συγκεκριμένων σεναρίων (Επιτροπή Μελέτης Επιπτώσεων κλιματικής αλλαγής Τράπεζας της Ελλάδος, 2011) .

Πίνακας 2: Σενάρια εκπομπών

Σενάριο A2	Μέτρια αύξηση του μέσου παγκόσμιου κατά κεφαλήν εισοδήματος. Ιδιαίτερα έντονη κατανάλωση ενέργειας. Ραγδαία αύξηση του παγκόσμιου πληθυσμού. Αργή και τμηματική τεχνολογική ανάπτυξη και μέτριες έως μεγάλες αλλαγές στη χρήση γης. Ραγδαία αύξηση της συγκέντρωσης του CO ₂ στην ατμόσφαιρα η οποία θα φτάσει τα 850 ppm το 2100.
-------------------	---

Σενάριο A1B	Ραγδαία οικονομική ανάπτυξη. Ιδιαίτερα έντονη κατανάλωση ενέργειας αλλά παράλληλα διάδοση νέων και αποδοτικών τεχνολογιών. Χρήση τόσο ορυκτών καυσίμων όσο και εναλλακτικών πηγών ενέργειας. Μικρές αλλαγές στη χρήση γης. Ραγδαία αύξηση του παγκόσμιου πληθυσμού μέχρι το έτος 2050 και σταδιακή μείωσή του στη συνέχεια. Έντονη αύξηση της συγκέντρωσης του CO ₂ στην ατμόσφαιρα η οποία θα φτάσει τα 720 ppm το 2100.
Σενάριο B2	Ανάπτυξη της παγκόσμιας οικονομίας με μέτριους ρυθμούς. Ηπιότερες τεχνολογικές αλλαγές σε σύγκριση με τα σενάρια εκπομπών A1 και B1. Ραγδαία αύξηση του παγκόσμιου πληθυσμού. Αύξηση της συγκέντρωσης του CO ₂ στην ατμόσφαιρα με μέτριους αλλά σταθερούς ρυθμούς η οποία θα φτάσει το 2100 τα 620 ppm .
Σενάριο B1	Μεγάλη αύξηση του παγκόσμιου κατά κεφαλήν εισοδήματος. Χαμηλή κατανάλωση ενέργειας. Μείωση της χρήσης των συμβατικών πηγών ενέργειας και στροφή στη χρήση τεχνολογιών που χρησιμοποιούν ανανεώσιμες ενεργειακές πηγές. Ραγδαία αύξηση του παγκόσμιου πληθυσμού μέχρι το έτος 2050 και σταδιακή μείωσή του στη συνέχεια. Αύξηση της συγκέντρωσης του CO ₂ στην ατμόσφαιρα με ήπιους σχετικά ρυθμούς ιδιαίτερα από το 2050 και μετά η οποία θα φτάσει το 2100 τα 550 ppm .

Η εκτίμηση του μελλοντικού κλίματος στην Ελλάδα έγινε υπό τα σενάρια εκπομπών A2, B2. Στη συνέχεια στο σχήμα 8 δίνονται οι μελλοντικές συγκεντρώσεις των CO₂ και SO₂ με βάση τα διάφορα σενάρια.



Διαγράμματα 5-7: Σενάρια εκπομπών CO₂, SO₂ (Πηγή: Επιτροπή Μελέτης Επιπτώσεων κλιματικής αλλαγής Τράπεζας της Ελλάδος).

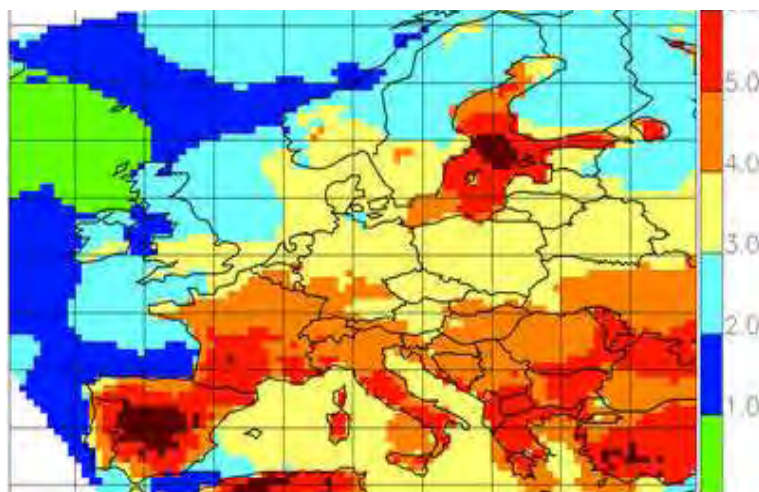
Στον πίνακα 3 υπάρχουν πληροφορίες για τα RCMs του προγράμματος PRUDENCE δεδομένα των οποίων χρησιμοποιούνται στην μελέτη των περιβαλλοντικών, οικονομικών και κοινωνικών επιπτώσεων της κλιματικής αλλαγής στην Ελλάδα» προκειμένου να υπολογιστούν οι μεταβολές της Μέσης Θερμοκρασία αέρος στα 2m από την επιφάνεια, της Βροχόπτωσης, της Σχετικής Υγρασίας στα 2 m από την επιφάνεια, του Κλάσματος Νεφοκάλυψης της Εισερχόμενης στην επιφάνεια Ολικής Μικρού Μήκους Κύματος Ακτινοβολίας και της Ταχύτητας του ανέμου στα 10m επιφάνεια, στις κλιματικές ζώνες που διαιρείται η Ελλάδα (Επιτροπή Μελέτης Επιπτώσεων κλιματικής αλλαγής Τράπεζας της Ελλάδος , 2011) .

Πίνακας 3. Περιοχικά Κλιματικά Μοντέλα του προγράμματος PRUDENCE

Ακρωνύμιο του RCM	Ινστιτούτο Ανάπτυξης του RCM	Χωρική Ανάλυση	Κατακόρυφα Επίπεδα	Βασική Βιβλιογραφική Αναφορά
CHRM	ETHZ, Switzerland	0.5° x 0.5°	20	Vidale et al. 2002
CLM	GKSS Germany	0.5° x 0.5°	20	Steppeler et al. 2003
HadRM3H	HC, UK	0.44° x 0.44°	19	Buonomo et al. 2007
HIRHAM	DMI, Denmark	0.44° x 0.44°	19	Christensen et al. 1998
RACMO	KNMI, Netherlands	0.44° x 0.44°	31	Lenderink et al. 2003
RCAO	SMHI, Sweden	0.44° x 0.44°	24	Döscher et al. 2007
RegCM	ICTP, Italy	0.44° x 0.44°	14	Giorgi et al. 1999
REMO	MPI, Germany	0.5° x 0.5°	19	Jacob 2001
PROMES	UCM, Spain	0.44° x 0.44°	28	Castro et al. 1993

Κατά την διάρκεια του προγράμματος χρησιμοποιήθηκαν πολλά παγκόσμια κλιματικά μοντέλα. Επίσης χρησιμοποιήθηκαν πολλές φορές δυο ή και περισσότερα από αυτά ταυτόχρονα. Επιπλέον χρησιμοποιήθηκαν διαφορετικά περιοχικά μοντέλα οδηγούμενα από το ίδιο παγκόσμιο μοντέλο ώστε να βρεθούν τυχόν αποκλίσεις αλλά και τα ίδια τα RCM's πολλές φορές 'έτρεξαν' με βάση τα δεδομένα μιας περιοχής ώστε να εξάγουν δεδομένα πιο καλά προσαρμοσμένα στην περιοχή. Ο κύριος όγκος των εργασιών που έγιναν πραγματοποιήθηκαν με τη χρήση του GCM HadAm3H κάνοντας χρήση του σεναρίου A2. Αποφασίσθηκε να χρησιμοποιηθεί ένα ατμοσφαιρικό μοντέλο με την προϋπόθεση ότι μπορεί να οδηγήσει σε καλύτερα αποτελέσματα από το να χρησιμοποιηθεί παράλληλα με ένα ωκεάνιο μοντέλο. Όσον αφορά τα δεδομένα που αφορούν τις διεργασίες στους ωκεανούς χρησιμοποιήθηκαν στη μελέτη της επαλήθευσης και διόρθωσης ,μετρήσεις της περιόδου 1961-1990 όπου βρέθηκαν οι μέσες μηνιαίες τιμές ανάλογα την περιοχή(grid). Οι ημερήσιες τιμές

προήλθαν μέσω παρεμβολής των μηνιαίων τιμών. Πρέπει να τονισθεί ότι τα αποτελέσματα τα οποία εξήχθησαν έχουν μια αβεβαιότητα η οποία υπάρχει εξαιτίας της χρήσης των εξαγόμενων δεδομένων από τα παγκόσμια κλιματικά μοντέλα ως είσοδο στα RCM's τα οποία θα κάνουν το downscaling. Τα αποτελέσματα από το κυρίως χρησιμοποιούμενο μοντέλο HadAm3H δείχνουν μια τάση αύξησης της θερμοκρασίας σε όλες τις περιοχές αλλά και αισθητή μείωση των βροχοπτώσεων το καλοκαίρι (Prudence Final report ,2005) .



Σχήμα 7: Αύξηση της θερμοκρασίας στην Ευρώπη την περίοδο 2071 – 2100 (Πηγή: Prudence final report).

3.2 Τα παγκόσμια κλιματικά μοντέλα

3.2.1 Το κλιματικό μοντέλο HadCM3

Το παγκόσμιο κλιματικό μοντέλο HadCM3 δημιουργήθηκε στο Hadley Centre στο Ηνωμένο Βασίλειο και αποτελείται από τα επιμέρους HadAM3H και HadOM3 που μελετούν τις ατμοσφαιρικές διεργασίες το πρώτο και τις διεργασίες στους ωκεανούς το δεύτερο. Είναι η εξέλιξη του HadCM2 (Durman et al , 2000). Απο την εργασία των Pope et al, (1999) αναφέρουμε ότι το HadAM3H είναι ένα ατμοσφαιρικό μοντέλο το οποίο έχει πολύ καλή ανάλυση της τάξης των 150 x 150 Km. Εξαιτίας της πολύ καλής ανάλυσης χρησιμοποιείται ευρέως στο να οδηγήσει τα δεδομένα των χρονοσειρών στα RCM's. Η οριζόντια ανάλυση του είναι 1,24° γεωγραφικό μήκος και 1,88° γεωγραφικό πλάτος και έχει 19 επίπεδα ανάλυσης στο

κάθετο, στο προηγούμενο επίπεδο, τα οποία βασίζονται σε υβριδικό σύστημα συντεταγμένων. Το μοντέλο αυτό έχει χρονικό βήμα των 30 λεπτών.

Το HadOM3 (Gordon et al, 2000) έχει μια ανάλυση $1,25 \times 1,25$ μοίρες 20 επίπεδα στο κάθετο επίπεδο και χρονικό βήμα 1 ώρας. Υπάρχουν 6 grid points για κάθε ένα αντίστοιχο ατμοσφαιρικό. Κατά τη χρήση του μοντέλου το HadAM3H τρέχει για μια μέρα χρησιμοποιώντας αλλά και υπολογίζοντας την ταχύτητα, την θερμότητα και την υγρασία της ατμόσφαιρας. Στη συνέχεια το HadOM3 τρέχει για μια ημέρα και υπολογίζει τις αντίστροφες ροές από τον ωκεανό στην ατμόσφαιρα αλλά και τις μεταβλητές των ωκεανών. Στο τέλος βγαίνει το τελικό αποτέλεσμα λαμβάνοντας υπόψη τους υπολογισμούς και των δυο μοντέλων. Αυτό επαναλαμβάνεται καθ' όλη τη διάρκεια του χρονικού διαστήματος που χρειάζεται.

3.2.2 Το κλιματικό μοντέλο ECHAM4

Το κλιματικό μοντέλο ECHAM4 δημιουργήθηκε από το Max Planck Ινστιτούτο μετεωρολογίας στη Γερμανία. Από την δημοσίευση Roeckner et al, (1996), αναφέρουμε ότι το μοντέλο βασίζεται στις βασικές εξισώσεις κίνησης των ρευστών. Οι προγνωστικές μεταβλητές είναι οι: στροβιλότητα, απόκλιση, ο λογάριθμος της επιφανειακής πίεσης, θερμοκρασία, σχετική υγρασία, συντελεστής ανάμιξης υγρασίας στα νέφη (νερό και πάγος) και μια σειρά από ίχνη αερίων και αερολυμάτων. Οι μη γραμμικές σχέσεις και οι παράμετροι των φυσικών φαινομένων υπολογίζονται μέσω μετασχηματισμού Gauss του οποίου η ανάλυση είναι

$2,8^\circ \times 2,8^\circ$. Το χρονικό βήμα της επεξεργασίας είναι 24 λεπτά για τις δυναμικές αλλά και για τις φυσικές διεργασίες εκτός από την μέτρηση της ακτινοβολίας που γίνεται κάθε 2 ώρες. Οι διεργασίες στην ατμόσφαιρα μελετώνται μέχρι το ύψος των 30 Km και το χαμηλότερο επίπεδο προς την επιφάνεια του εδάφους είναι τα 30 m. Η τρισδιάστατη μεταφορά της υγρασίας από την εξατμισοδιαπνοή ή τα νέφη και τα ιχνοσυστατικά υπολογίζεται μέσω ενός μετασχηματισμού ημι-Lagrange (Williamson and Rasch, 1994). Οι παράμετροι του ανάγλυφου της γης όπως ορογραφία, ανακλαστικότητα, τραχύτητα, είδος βλάστησης, δείκτης φυλλικής επιφάνειας και εδάφους, θερμοχωρητικότητα, ικανότητα συγκράτησης νερού κτλ καθορίζονται πριν από την ένταξη τους στο σύστημα.

3.2.3 Το κλιματικό μοντέλο ECHAM5

Το ECHAM5 είναι η εξέλιξη του ECHAM4 και οι διαφορές τους εντοπίζονται στην καλύτερη παραμετροποίηση της οριζόντιας μεταφοράς των νεφών, ξεχωριστή μεταχείριση της υγρασίας και του πάγου των νεφών, μεγαλύτερη συμμετοχή της ορογραφίας στην επεξεργασία των δεδομένων. Επίσης υπάρχουν περισσότερα δεδομένα του εδάφους και των διεργασιών που συμβαίνουν σε αυτό (Roeckner et al, 2003) .

3.3 Τα περιοχικά κλιματικά μοντέλα (RCM's)-το μοντέλο RCAO

Τα περισσότερα παγκόσμια μοντέλα δίνουν αποτελέσματα με ανάλυση της τάξης των 150 x 150 Km. ($3,75^\circ \times 2,5^\circ$). Τα δεδομένα του μοντέλου στη συνέχεια γίνονται είσοδοι σε επιπλέον μοντέλα, τα περιοχικά μοντέλα (RCM's), τα οποία επικεντρώνονται σε μια συγκεκριμένη περιοχή και δίνουν τα μελλοντικά δεδομένα με πιο μικρή ανάλυση (downscaling). Η ανάλυση μπορεί να φτάσει τα 50x50 Km ή και τα 10x10 Km σε κάποια μοντέλα. Τα μοντέλα από τα οποία θα παρουσιαστούν δεδομένα είναι τα HIRHAM (Christensen et al, 1996), REMO (Jacob D., Podzun R., 1996), RCAO. Στη παρούσα εργασία τα δεδομένα που θα επεξεργαστούν προέρχονται από το μοντέλο RCAO το οποίο παρουσιάζεται παρακάτω.

Το μοντέλο RCAO δημιουργήθηκε στο Rossby Centre της Σουηδίας (Dosche et al, 2002). Δημιουργήθηκε με σκοπό να μελετήσει την Βόρεια Ευρώπη και συγκεκριμένα τις χώρες γύρω από τη Βαλτική θάλασσα. Το μοντέλο αυτό, συνδυάζει δυο ανεξάρτητα μοντέλα ένα ατμοσφαιρικό το RCA και ένα ωκεάνιο το RCO. Και τα δυο οδηγούνται από τα δεδομένα του παγκόσμιου κλιματικού μοντέλου HadAM3H A2. Το RCA (Rummucainen et al, 2001) έχει ανάλυση 44 x 44Km και περιλαμβάνει 24 επίπεδα κατ' ύψος από την επιφάνεια έως το ύψος όπου η πίεση είναι 10 hPa. Το χρονικό βήμα είναι 30 min. Στο μοντέλο έχουν εισαχθεί ως επιπλέον μεταβλητές, σε σχέση με τα προηγούμενα μοντέλα, η θερμοκρασία του βαθέως εδάφους, η ποσότητα θαλασσινού νερού που προέρχεται από θάλασσες εκτός της Βαλτικής αλλά και η ποσότητα των παγετώνων.

Το μοντέλο RCO (Meier et al, 2002) έχει ανάλυση 6 ναυτικών μιλίων, με ύψος που κυμαίνεται από 3 έως 12 μέτρα. Το χρονικό βήμα της βαρομετρικής πίεσης είναι 10 λεπτά. Στο μοντέλο έχει εισαχθεί η ποσότητα των παγετώνων καθώς και η εισροή γλυκού νερού από ποτάμια. Η θαλασσινή αύρα μετρήθηκε στο ύψος των 10 m και η θερμοκρασία, η ορμή και η κίνηση του νερού μελετώνται ως κίνηση ρευστών. Η αλμυρότητα και η θερμοκρασία λαμβάνουν σταθερές τιμές όταν εισέρχονται στο

σύστημα αλλά τελικά μετρίεται η επιρροή τους στην ακτινοβολία της επιφάνειας της θάλασσας.

Τα παραπάνω δυο μοντέλα συνδυάζονται με την βοήθεια του OASIS coupler (Terray et al., 1999 - Valcke et al., 2000) . Σύμφωνα με αυτό τα δυο μοντέλα δουλεύουν ανεξάρτητα μεταξύ τους απλά συγχρονίζονται μέσω του OASIS. Το OASIS αποθηκεύει όλα τα δεδομένα ξεχωριστά και τα τροφοδοτεί από το ένα μοντέλο στο άλλο. Επίσης πραγματοποιεί παρεμβολές (interpolations) από το ένα grid στο άλλο. Οι διαφορές ανάμεσα στο συνδυαστικό (RCO και RCA) και στα ανεξάρτητα μοντέλα ελαχιστοποιούνται μέσω διεπαφικών ρουτινών (interface routines) καθώς και με εσωτερική επικοινωνία των κυρίων και δευτερευόντων επεξεργαστών των μοντέλων ξεχωριστά.

4. Ο κύκλος του νερού

Το νερό που βλέπουμε σε μια λίμνη δεν είναι πάντα το ίδιο. Στη πραγματικότητα το νερό συνεχώς κινείται μέσω του «Αέναου Κύκλου του Νερού» συνεχώς ανανεώνεται στηρίζοντας τη ζωή του πλανήτη μας και παίζοντας σημαντικό ρόλο στα παγκόσμια καιρικά φαινόμενα. Η συνολική ποσότητα του νερού στον πλανήτη υπολογίζεται περίπου σε 1.400 εκατομ. κυβικά χιλιόμετρα. Στους υδάτινους πόρους της Γης περιλαμβάνονται οι ωκεανοί και οι θάλασσες, οι πάγοι των πολικών περιοχών, τα ποτάμια και οι λίμνες, η υγρασία της ατμόσφαιρας και τα υπόγεια ύδατα. Σύμφωνα με στοιχεία του Παγκόσμιου Ταμείου για τη Φύση -WWF (Ατлас του Περιβάλλοντος, 1990), οι ωκεανοί και οι θάλασσες αποτελούν το 97% της υδρόσφαιρας και το γλυκό νερό το υπόλοιπο 3%. Το 79% του γλυκού νερού βρίσκεται με τη μορφή πάγου στις πολικές περιοχές, το 20% είναι υπόγεια νερά και μόνο το 1% είναι προσιτό νερό επιφανείας, διαθέσιμο για τις ανάγκες του ανθρώπου και των άλλων οργανισμών. Το 52% των επιφανειακών υδάτων βρίσκεται στις λίμνες, το 1% στα ποτάμια, το 38% ως υγρασία στο έδαφος, το 8% στην ατμόσφαιρα

και το 1% στους ζωντανούς οργανισμούς. Οι ποταμοί προσφέρουν στην ανθρωπότητα το 80% των αναγκών σε νερό, ενώ αντιπροσωπεύουν μόλις το 0,000003% της συνολικής ποσότητάς του στον πλανήτη.

4.1 Τα στάδια του κύκλου του νερού

Εξάτμιση - Διαπνοή

Υδρατμοί των επιφανειακών νερών (λιμνών, θαλασσών λοιπών στάσιμων νερών) εξατμίζονται και ανεβαίνουν στα ανώτερα στρώματα της ατμόσφαιρας καθώς ο ήλιος θερμαίνει την επιφάνειά τους. Υδρατμοί εξατμίζονται επίσης και από τη διαπνοή των φυτών. Δεδομένου ότι τα φυτά απορροφούν νερό από το χώμα, το νερό κινείται από τις ρίζες στα φύλλα μέσω των μίσχων. Μόλις φθάσει το νερό στα φύλλα, κάποια ποσότητα, εξατμίζεται προσθέτοντας ποσότητα υδρατμών στον αέρα. Αυτή η διαδικασία της εξάτμισης μέσω των φύλλων των φυτών καλείται διαπνοή. Στα μεγάλα δάση, μια μεγάλη ποσότητα νερού θα διαπνεύσει μέσω των φύλλων. Οι άνεμοι με τη σειρά τους βοηθούν το εξατμιζόμενο νερό στην άνοδό του ψηλά μέσα στην ατμόσφαιρα. Εκεί συναντούν παγωμένα στρώματα της ατμόσφαιρας συμπυκνώνονται σε μικρά σταγονίδια ή διαμορφώνουν μικροσκοπικούς κρυστάλλους πάγου και σχηματίζουν τα σύννεφα.

Συμπύκνωση

Η συμπύκνωση είναι η αλλαγή της φυσικής κατάστασης του νερού από την αέρια (υδρατμός) στην υγρή μορφή. Η συμπύκνωση εμφανίζεται γενικά στην ατμόσφαιρα όταν ο θερμός αέρας ανέρχεται στα ανώτερα στρώματα της ατμόσφαιρας, παγώνει και χάνει την ικανότητά του να συγκρατήσει τους υδρατμούς. Κατά συνέπεια, οι υδρατμοί που περισσεύουν συμπυκνώνονται και διαμορφώνουν τα σταγονίδια των σύννεφων. Όταν ένα σύννεφο διαμορφωθεί, μέσω της συμπύκνωσης των υδρατμών, αρχίζει να κινείται από τους ωκεανούς προς την ξηρά.

Μετακίνηση Αερίων Μαζών

Η κίνηση αυτή οφείλεται στη κίνηση των αερίων μαζών που παρασύρουν το σύννεφο όπως για παράδειγμα η θαλάσσια αύρα (εναλλαγή του θαλασσινού με τον αέρα της ξηράς). Οι υδρατμοί όπως είδαμε από τα παραπάνω γραφήματα αποτελούν το τρίτο σε περιεκτικότητα αέριο της ατμόσφαιρας. Οι υδρατμοί μπορεί να είναι

αόρατοι σε μας, αλλά όχι στους μετεωρολογικούς δορυφόρους, οι οποίοι είναι σε θέση με τα στοιχεία που συλλέγουν να υπολογίσουν την περιεκτικότητα σε υγρασία της ατμόσφαιρας και να μας δώσουν σωστές μετεωρολογικές προβλέψεις.

Πτώση στη γη

Τα μικροσκοπικά σταγονίδια του σύννεφου είναι σε θέση να πέσουν στη γη ως κατακρήμνισμα, δηλαδή βροχή, χιόνι ή χαλάζι εάν ενωθούν μεταξύ τους γίνουν μεγαλύτερα και βαρύτερα ανάλογα με τη θερμοκρασία που επικρατεί στην ατμόσφαιρα και τη περιοχή πτώσης τους.

Διήθηση – Υπόγεια νερά

Η διήθηση είναι μια σημαντική διαδικασία όπου το νερό της βροχής ή των λιμνών διεισδύει στο έδαφος, μέσω των στρωμάτων του χώματος και βράχου. Κάποια ποσότητα από αυτό το νερό επιστρέφει τελικά στην επιφάνεια μέσω των πηγών ή βρίσκοντας ανοίγματα διαφυγής σε χαμηλότερα σημεία. Ποσότητα νερού όμως παραμένει κάτω από τη γη. Αυτά τα νερά καλούνται υπόγεια νερά. Το νερό δε μένει για πάντα κάτω από το έδαφος αλλά διατηρείται εκεί για μεγαλύτερο χρονικό διάστημα απ' ό,τι το επιφανειακό νερό. Καθώς το νερό διεισδύει μέσω των στρωμάτων χώματος και βράχου, πολλές από τις ακαθαρσίες του νερού φιλτράρονται. Αυτή η διαδικασία φιλτραρίσματος βοηθά στον καθαρισμό του.

Επιφανειακή Ροή

Οι αγωγοί των βουνίσιων λιμνών δημιουργούν μικρά ρέματα, τα οποία στη συνέχεια ενώνονται σχηματίζοντας έναν μεγαλύτερο ποταμό ο οποίος μεταφέρει το νερό των λιμνών στα χαμηλότερα επίπεδα με τελικό προορισμό τη θάλασσα.

Εισροή νερού στη λίμνη

Το χιόνι που υπάρχει στα βουνά και το παγωμένο νερό των παγετώνων σιγά σιγά λιώνει καθώς ο καιρός γίνεται θερμότερος και το νερό ταξιδεύει πάλι μέσω πηγών πίσω στις λίμνες ενισχύοντάς τις με νέες ποσότητες νερού. Στο σχήμα 10 παρουσιάζεται ο κύκλος του νερού και η ροή των φαινομένων.



Σχήμα 8. Ο κύκλος του νερού (Πηγή: USGS).

4.2 Η διήθηση

Από τις σημειώσεις του μαθήματος Τεχνική Υδρολογία του Πανεπιστημίου Θράκης αναφέρονται τα παρακάτω. Διήθηση είναι η φυσική διεργασία της εισχώρησης στο έδαφος νερού που προέρχεται από βροχόπτωση, τήξη χιονιού ή άρδευση. Η διεργασία αυτή σχετίζεται άμεσα με την κίνηση του νερού στο έδαφος με τρόπο τέτοιο ώστε ο ρυθμός διήθησης να εξαρτάται τόσο από τη διαθεσιμότητα του νερού για διήθηση, όσο και από τις ιδιότητες του εδάφους ως προς την κίνηση του νερού σε αυτό. Η διήθηση και η κίνηση του νερού στο έδαφος παίζουν σημαντικό υδρολογικό ρόλο και επηρεάζουν την επιφανειακή απορροή, την εξατμισοδιαπνοή, την επαναφόρτιση των υδροφορέων, αλλά και την μεταφορά διαλυμένων ουσιών στο έδαφος (Σχήματα 11 και 12).

Ο ρυθμός διήθησης εξαρτάται κατά σειρά προτεραιότητας από την ένταση και διάρκεια των βροχοπτώσεων, τις φυσικές ιδιότητες του εδάφους, την κατάσταση του επιφανειακού εδαφικού καλύμματος, την παρουσία ή όχι της χλωρίδας, την υγρασία του εδάφους, την θερμοκρασία και την ποιότητα του βρόχινου νερού.

Το φαινόμενο της διήθησης μπορεί να χωριστεί στα εξής στάδια:

- Είσοδος νερού στο έδαφος
- Ροή και αποθήκευση μέσα στο έδαφος
- Ροή στο έδαφος χωρίς επιπλέον αποθήκευση



Σχήμα 9. Διήθηση νερού.



Σχήμα 10. Παρουσίαση υδροφορέων στο υπέδαφος.

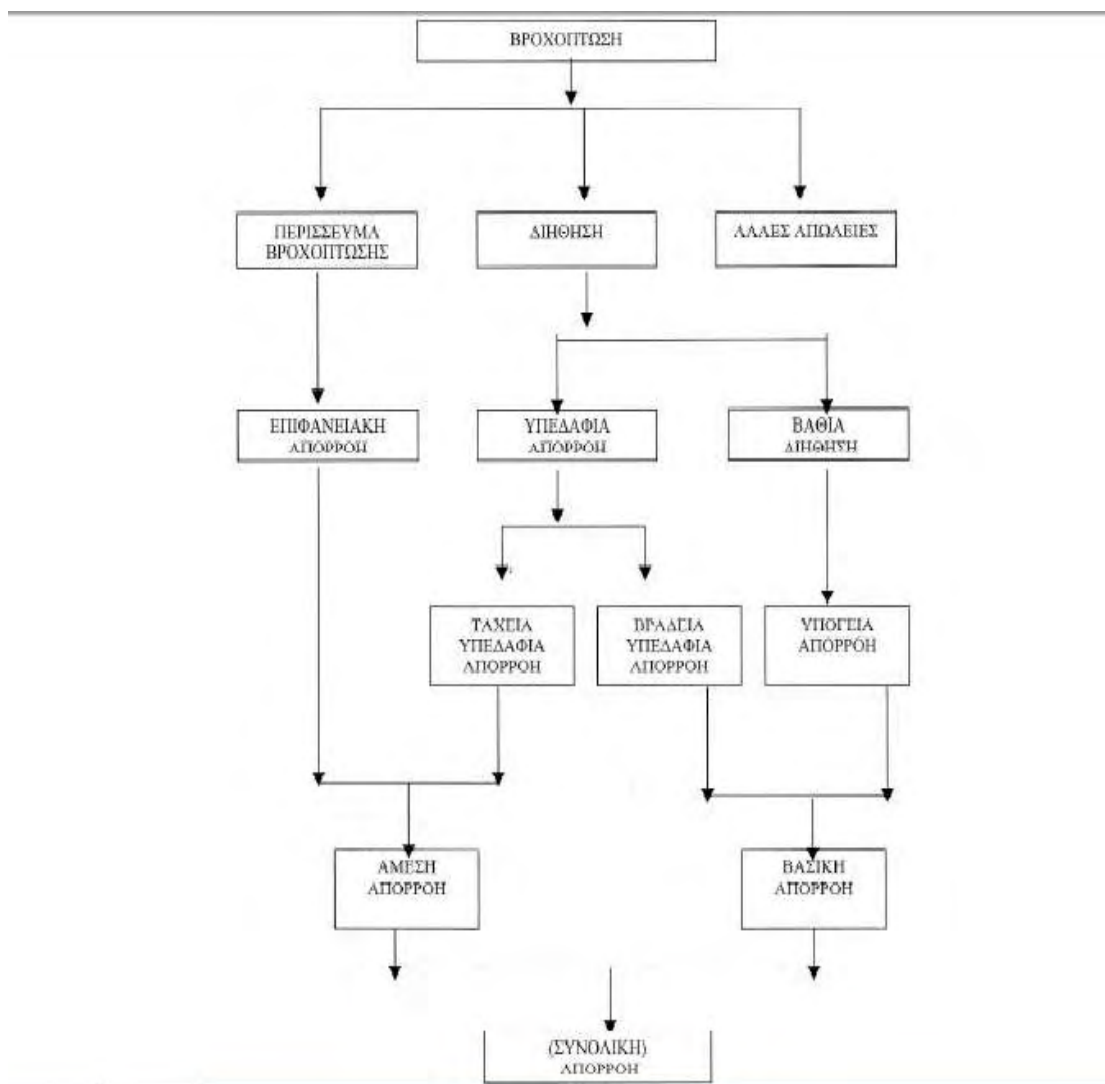
4.3 Απορροές

Από τις σημειώσεις του μαθήματος Τεχνική Υδρολογία του Πανεπιστημίου Θράκης αναφέρονται τα παρακάτω . Ένα μέρος του νερού που φθάνει στην επιφάνεια της Γής από τις ατμοσφαιρικές κατακρημνίσεις κινείται στην επιφάνεια του εδάφους και ένα άλλο διηθείται στο έδαφος. Μέρος από το διηθούμενο νερό κινείται πλευρικά και επανεμφανίζεται στην επιφάνεια του εδάφους ή σε υδατορρέυματα χαμηλότερου

υψομέτρου , ενώ ένα άλλο καταλήγει σε βαθύτερα στρώματα και εμπλουτίζει τους υπόγειους υδροφορείς που με τη σειρά τους μπορεί να καταλήγουν και αυτοί σε ένα υδατόρρευμα. Γενικά το μέρος των κατακρημνίσεων που καταλήγει σε ένα υδατόρρευμα αποτελούν την απορροή. Σε κάθε διατομή ενός υδατορρεύματος διέρχονται τα νερά που προέρχονται από συγκεκριμένη επιφάνεια οποία ονομάζεται λεκάνη απορροής.

Το μέρος του νερού που κινείται στην επιφάνεια του εδάφους αποτελεί την επιφανειακή απορροή, το μέρος που αφορά τη διήθηση σε μικρό βάθος την υπεδάφια απορροή και τέλος το μέρος του νερού που καταλήγει σε υδατορρεύματα μέσω των υπόγειων υδροφορέων αποτελεί την υπόγεια απορροή.

Όσον αφορά τον χρόνο εμφάνισης κάθε συνιστώσας της απορροής υπάρχει η άμεση απορροή και η βασική απορροή. Η άμεση απορροή είναι εκείνη που καταλήγει στα υδατορρεύματα αμέσως μετά την βροχόπτωση ή την τήξη του χιονιού και αποτελείται κυρίως από την επιφανειακή και μέρος της υπεδάφιας απορροής. Η βασική απορροή αποτελείται κυρίως από την υπόγεια απορροή και στην ουσία είναι η ροή των ρευμάτων ανάμεσα στις βροχοπτώσεις. Το μέρος της βροχής το οποίο την άμεση απορροή καθώς και το τμήμα που προκαλεί την ταχεία υπεδάφια ροή αναφέρονται απλοποιητικά ως περίσσειμα βροχής.



Σχήμα 11. Σχηματική παράσταση των συνιστωσών της απορροής (Πηγή: Σημειώσεις τεχνικής υδρολογίας).

Η λεκάνη απορροής που αντιστοιχεί σε μια διατομή υδατορρεύματος είναι η επιφάνεια από την οποία διέρχεται η συνολική επιφανειακή απορροή μέσω της διατομής αυτής και φυσικά αντιστοιχεί στο χαμηλότερο υψόμετρο. Οι λεκάνες απορροής χωρίζονται με μια ιδεατή που λέγεται υδροκρίτης. Τα υδρολογικά χαρακτηριστικά των λεκανών απορροής είναι μορφολογικά (μέγεθος, σχήμα, ανάγλυφο, υδρογραφικό δίκτυο), εδαφολογικά (μηχανικές ιδιότητες, σύσταση του εδάφους), η φυτοκάλυψη και ο χρόνος συγκέντρωσης της λεκάνης απορροής.

4.4 Υδατικό ισοζύγιο

Η εξατμισοδιαπνοή του νερού στο φυσικό περιβάλλον, είτε από ελεύθερες επιφάνειες, είτε από γυμνές ή φυτοκαλυμμένες επιφάνειες της γης είναι από τις

σημαντικές συνιστώσες του υδρολογικού κύκλου. Ο υδρολογικός κύκλος ξεκινά από την προσφορά νερού από την ατμόσφαιρα στην επιφάνεια της γης με την μορφή υδρομετεώρων που καταλήγουν στους ποταμούς, στις λίμνες και στις θάλασσες είτε μέσω διήθησης των υπόγειων νερών είτε μέσω της επιφανειακής απορροής. Στη συνέχεια το νερό εξατμίζεται και επιστρέφει στην ατμόσφαιρα.

Το νερό όταν εξατμίζεται όπως είναι γνωστό δε μπορεί να χρησιμοποιηθεί πλέον. Η εξατμισοδιαπνοή και η βροχόπτωση καθορίζουν το ποσό της επιφανειακής απορροής των κοιλάδων ή των λεκανών γενικά. Το ποσό και ο ρυθμός εξάτμισης από υδατικές επιφάνειες είναι ένας πολύ σημαντικός παράγοντας που πρέπει να ληφθεί υπόψη στο σχεδιασμό φραγμάτων, στην άρδευση, στη διαχείριση του νερού των λιμνών κτλ. Η εκτίμηση της εξατμισοδιαπνοής είναι αρκετά δύσκολη αλλά όσον αφορά την γενική εξίσωση του υδατικού ισοζυγίου, η οποία προκύπτει από την αρχή διατήρησης της μάζας είναι (Τσακίρης, 1995):

$$P \pm RO + \Delta SW - D - ET + I = 0 \quad (4.1)$$

Όπου P: η βροχόπτωση, ΔSW : η αλλαγή του περιεχόμενου νερού της εδαφικής κατανομής, I: η άρδευση, RO: η επιφανειακή απορροή, D: η διήθηση, ET: εξατμισοδιαπνοή

5. Η ασαφής λογική

Η θεωρία των Ασαφών Συνόλων (ΑΣ) (Fuzzy Sets) αρχικά προτάθηκε από τον Zadeh το 1965, ως ένας νέος τρόπος αναπαράστασης της αοριστίας στην καθημερινή ζωή. Εκεί εισάγει την έννοια της λογικής άπειρων τιμών όπου περιγράφει τα μαθηματικά της θεωρίας των ΑΣ και κατα επέκταση την Ασαφή Λογική. Δηλαδή, προτείνει ότι η συνάρτηση συμμετοχής (membership function) ενός συνόλου παίρνει τιμές σε όλο το εύρος του διαστήματος $[0,1]$ των πραγματικών αριθμών. Ο Zadeh ισχυριζόταν ότι ο άνθρωπος δεν απαιτεί ακριβείς αριθμητικές πληροφορίες ως είσοδο αλλά παρόλα αυτά έχει την ικανότητα να εκτελεί αρκετά δύσκολες εργασίες και να προσαρμόζεται αντίστοιχα στις εκάστοτε συνθήκες. Η Ασαφής προσέγγιση βασίζεται στο συλλογισμό ότι τα βασικά στοιχεία της ανθρώπινης σκέψης δεν είναι απλώς αριθμοί αλλά μπορούν να προσεγγιστούν από πίνακες ασαφών συνόλων, δηλαδή από κλάσεις αντικειμένων στα οποία η μετάβαση από τη συμμετοχή στη μη συμμετοχή σε μια κλάση είναι βαθμιαία παρά απότομη. Ένα μεγάλο μέρος της λογικής πίσω από τους ανθρώπινους συλλογισμούς δεν είναι η κλασική δίτιμη λογική ή ακόμα και η λογική πολλών τιμών αλλά η λογική με τις ασαφείς αλήθειες, τις ασαφείς συνδέσεις και τους ασαφείς κανόνες συμπερασματολογίας. Η Ασαφής Λογική παίζει ένα σημαντικό ρόλο σε αρκετές πλευρές της διαδικασίας της ανθρώπινης σκέψης.

Ο συνδυασμός της ασαφούς λογικής με τα νευρωνικά δίκτυα και τους εξελικτικούς αλγορίθμους οδήγησε στη δημιουργία συστημάτων με ικανότητες μάθησης, γενίκευσης και συμπερασμού (*cognitive systems*). Η μοντελοποίηση και ο έλεγχος σύνθετων φυσικών διεργασιών, των οποίων η σχέση διέγερσης-απόκρισης χαρακτηρίζεται από ισχυρές μη γραμμικότητες από ανακρίβειες, ακόμα και από αντιφάσεις, είναι εφικτή στο πλαίσιο της ασαφούς λογικής. Οι δυνατότητες αυτές που δεν παρέχονται επαρκώς από τα κλασικά αυστηρά μαθηματικά εργαλεία μοντελοποίησης και ελέγχου καθιέρωσαν την ασαφή λογική ως ένα από τα πιο αποτελεσματικά και καθιερωμένα πλέον εργαλεία για το σύγχρονο μηχανικό και επιστήμονα. Η έννοια των ασαφών συνόλων μπορεί να χρησιμοποιηθεί είτε στο επίπεδο των μεταβλητών είτε στο επίπεδο της ταξινόμησης. Η επιστημονική έρευνα στον τομέα είναι αχανής. Εφαρμογές εμφανίζονται σε πεδία μοντελοποίησης (*Modeling*), πρόβλεψης (*Prediction*), ελέγχου (*control*), κατάταξη δειγμάτων σε κατηγορίες (*Classification*), αναγνώριση προτύπων (*Pattern Recognition*),

συστήματα υποστήριξης αποφάσεων (*Decision Support Systems*), Θεωρία δυνατοτήτων (*Possibility Theory*) και βελτιστοποίηση (*Optimization*).

5.1.1 Βασικοί ορισμοί πραγματικών συνόλων

Ένα υποσύνολο, στην κλασσική θεωρία των πραγματικών συνόλων (crisp sets), ορίζεται ως εξής (Χαλκίδης, 2005):

Έστω X είναι ένα σύνολο αναφοράς, για παράδειγμα το R (σύνολο των Πραγματικών αριθμών) ή το Z (σύνολο των ακεραίων αριθμών). Τότε ένα κλασικό υποσύνολο A , του συνόλου αναφοράς X , ορίζεται από την χαρακτηριστική του συνάρτηση $\mu_A(x)$ (characteristic function):

$$\forall x \in X, \mu_A(x) \in \{0,1\} . \quad (5.1)$$

Τούτο σημαίνει ότι ένα στοιχείο του X ανήκει ή δεν ανήκει στο A , ανάλογα με την τιμή που παίρνει η χαρακτηριστική συνάρτηση (1 ή 0). (Kaufmann and Gupta, 1991)

Οι βασικές έννοιες, στη θεωρία των πραγματικών συνόλων είναι η ένωση, η τομή και το συμπληρωματικό σύνολο, οι ορισμοί των οποίων δίνονται ακολούθως. Αρχικά, ας θεωρηθεί ότι τα σύνολα A και B αποτελούν υποσύνολα του συνόλου αναφοράς X . Ως **ένωση** (Union), των πραγματικών συνόλων A και B , ονομάζεται ένα νέο σύνολο Γ , το οποίο ορίζεται ως εξής :

$$\Gamma = A \cup B = \{x | x \in A \text{ ή } x \in B\} \quad (5.2)$$

Στην περίπτωση της ένωσης δυο συνόλων A και B , το κάθε ένα από αυτά τα σύνολα αποτελεί υποσύνολο της ενώσεως τους, δηλαδή ισχύει η ακόλουθη έκφραση :

$$A \subset (A \cup B), B \subset (A \cup B) \quad (5.3)$$

Τομή (Intersection), των πραγματικών συνόλων A και B , ονομάζεται ένα νέο σύνολο Γ , το οποίο ορίζεται ως εξής:

$$\Gamma = A \cap B = \{x / x \in A \text{ και } x \in B\} \quad (5.4)$$

Στην περίπτωση της τομής δυο συνόλων A και B , το νέο σύνολο που προκύπτει αποτελεί υποσύνολο και των δυο συνόλων από τα οποία προήλθε, συνεπώς ισχύει:

$$(A \cap B) \subset A, (A \cap B) \subset B \quad (5.5)$$

Συμπλήρωμα (Complement) πραγματικού συνόλου A είναι το υποσύνολο \bar{A} , το οποίο εμπεριέχει όλα τα στοιχεία του συνόλου αναφοράς X , εκτός αυτών που ανήκουν στο σύνολο A , δηλαδή

$$\bar{A} = \{x | x \notin A\} \quad (5.6)$$

Από τα προηγούμενα προκύπτει:

- $A \cup \bar{A} = X$, που καλείται Νόμος του αποκλεισμένου μέσου (The law of excluded middle) και
- $A \cap \bar{A} = \emptyset$, που καλείται Νόμος της αντίθεσης (The law of contradiction), όπου \emptyset σημαίνει το κενό σύνολο.

5.1.2 Το ασαφές σύνολο

Το ασαφές σύνολο είναι η βάση στη οποία στηρίζεται η ασαφής λογική. Από τις σημειώσεις των Παπαδάκη, Αδαμίδη, του ΤΕΙ Θεσσαλονίκης αναφέρονται τα παρακάτω. Ο Zadeh παρατήρησε ότι αν στηριχτούμε στην δυαδική λογική (true – false, απουσία – παρουσία, κρύο – ζεστό κτλ) χάνεται ένα σημαντικό κομμάτι πληροφοριών που είναι χρήσιμο. Ειδικά αν το ζήτημα που ερευνάται είναι πολύπλοκο τότε όχι μόνο χάνεται μεγάλο κομμάτι πληροφοριών αλλά βγαίνουν και λάθος συμπεράσματα. Έτσι όρισε την Αρχή της ασυμβατότητας ως εξής και προχώρησε στη θεμελίωση της ασαφούς λογικής:

‘Καθώς η πολυπλοκότητα ενός συστήματος αυξάνεται, η ικανότητα για ακριβείς και ταυτόχρονα σημαντικές δηλώσεις που αφορούν τη συμπεριφορά του μειώνεται, και πέρα από ένα σημείο η ακρίβεια και η σημαντικότητα αποτελούν σχεδόν αμοιβαία αποκλειόμενα χαρακτηριστικά.’

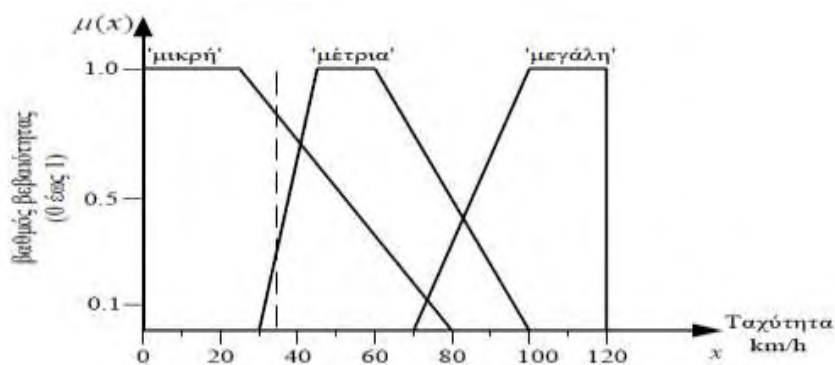
Το πώς προέκυψαν τα ασαφή σύνολα μπορεί να παρουσιαστεί με ένα κλασσικό παράδειγμα το οποίο υπάρχει σε πολλές βιβλιογραφίες και εξηγεί με απλό τρόπο τον διαφορετικό τρόπο σκέψης στην ασαφή λογική. Στο παρακάτω παράδειγμα

παρατηρούμε ότι μια τιμή της μεταβλητής δεν ανήκει σε ένα μόνο υποσύνολο αλλά σε πολλά. Το πόσο «πολύ ή λίγο » ανήκει στο υποσύνολο εξαρτάται από το βαθμό συμμετοχής της τιμής σε αυτό. Έτσι κάθε ένα τέτοιο υποσύνολο το οποίο περιέχει τιμές με διαφορετικό βαθμό συμμετοχής σε αυτό καλείται ασαφές σύνολο.

Ας θεωρήσουμε ως μεταβλητή την ταχύτητα ενός αυτοκινήτου. Η τιμή της ταχύτητας κυμαίνεται από 0-120 Km/h. Αν ρωτήσουμε πολλούς ανθρώπους για το πόσο σίγουροι είναι για το ποια ταχύτητα θεωρείται μικρή, μέτρια ή μεγάλη το πιο πιθανό είναι να πάρουμε τις παρακάτω απαντήσεις.

- Ταχύτητα 10Km/h, 100% μικρή
- Ταχύτητα 20Km/h, 100% μικρή
- Ταχύτητα 40Km/h, 90% μικρή, 10% μέτρια
- Ταχύτητα 60Km/h, 10% μικρή, 90% μέτρια
- Ταχύτητα 90Km/h, 70% μεγάλη, 30% μέτρια
- Ταχύτητα 120Km/h, 100% μεγάλη

Από τα παραπάνω συμπεραίνουμε ότι δεν υπάρχει ένα σαφές σύνολο το οποίο να μπορούμε με σιγουριά να κατατάξουμε την τιμή της ταχύτητας ως μικρή, μέτρια ή μεγάλη. Μόνο στα δυο άκρα και στο μέσο του πεδίου ορισμού είμαστε σίγουροι για το που κατατάσσονται οι τιμές. Αν παραστήσουμε γραφικά το παραπάνω ασαφές σύνολο σχηματίζεται το παρακάτω διάγραμμα (διάγραμμα 8). Παρατηρούμε ότι με αυτή την μετατροπή η ταχύτητα πλέον έχει διαμεριστεί σε λεκτικούς όρους αντί για αριθμητικούς. Η μετατροπή από μια αυστηρή αριθμητική τιμή σε λεκτική ονομάζεται ασαφοποίηση (fuzzyfication).



Διάγραμμα 8. Γραφική παράσταση ασαφούς συνόλου (βαθμός συμμετοχής-ταχύτητα)

Αν προσπαθήσουμε να βρούμε που ανήκει η ταχύτητα των 32Km/h θα δούμε ότι ανήκει με βαθμό συμμετοχής 0,8 στη μικρή ταχύτητα και 0,3 στη μέτρια.

5.2 Στοιχεία των ασαφών συνόλων

Στην κλασική θεωρία των συνόλων, ένα σύνολο αποτελείται από ένα πεπερασμένο ή άπειρο αριθμό στοιχείων και μπορεί να αναπαρασταθεί από την απαρίθμηση των στοιχείων του ως εξής:

$$A = \{a_1, a_2, a_3, \dots, a_n\} \quad (5.7)$$

Τα στοιχεία όλων των συνόλων υπό μελέτη ανήκουν σε ένα *υπερσύνολο αναφοράς* (universe of discourse).

Αν αυτά τα στοιχεία a_i ($i=1, \dots, n$) του A είναι όλα μαζί ένα υποσύνολο του υπερσυνόλου αναφοράς X , είδαμε προηγουμένως ότι το σύνολο A μπορεί να αναπαρασταθεί από όλα τα στοιχεία $x \in X$ από τη χαρακτηριστική συνάρτηση :

$$\mu_A(x) = \begin{cases} 1 & \text{αν } x \in A \\ 0 & \text{αλλιώς} \end{cases} \quad (5.8)$$

Στην κλασική θεωρία των συνόλων το $\mu_A(x)$ έχει μόνο τις τιμές 0 ("false") και 1 ("true") που είναι οι τιμές της αλήθειας. Τέτοια σύνολα επίσης ονομάζονται *crisp σύνολα* (crisp sets). Τα μη- crisp σύνολα ονομάζονται *ασαφή σύνολα* (fuzzy sets).

Ασαφές Σύνολο είναι οποιοδήποτε σύνολο το οποίο επιτρέπει τα μέλη του να έχουν διαφορετικούς βαθμούς συμμετοχής (συνάρτηση συμμετοχής) στο διάστημα $[0,1]$.

Εάν X είναι ένα σύνολο αντικειμένων ή αριθμών, που συμβολίζονται με x , τότε ένα ασαφές σύνολο (Fuzzy set) \tilde{A} υποσύνολο του X , είναι ένα σύνολο διατεταγμένων ζευγών, x και $\mu_{\tilde{A}}(x)$ (Zimmermann, 1996):

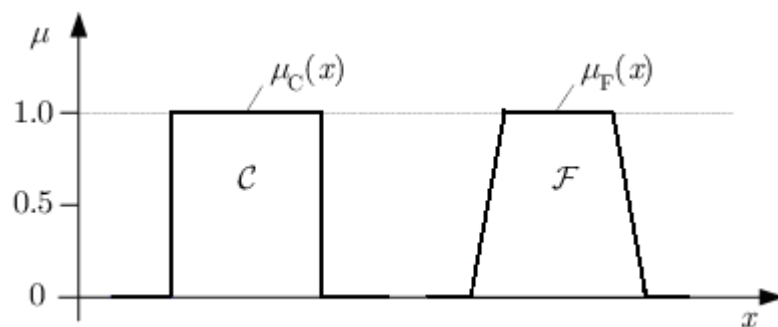
$$\tilde{A} = \{(x, \mu_{\tilde{A}}(x)) \mid x \in X\} \quad (5.9)$$

όπου $\mu_{\tilde{A}}(x)$ είναι η συνάρτηση εμπιστοσύνης (membership function), η οποία

εκφράζει για το στοιχείο x , τον βαθμό συμμετοχής του ή τον βαθμό αλήθειας ως προς το ασαφές σύνολο \tilde{A} (Fuzzy set) (Χαλκίδης 2005).

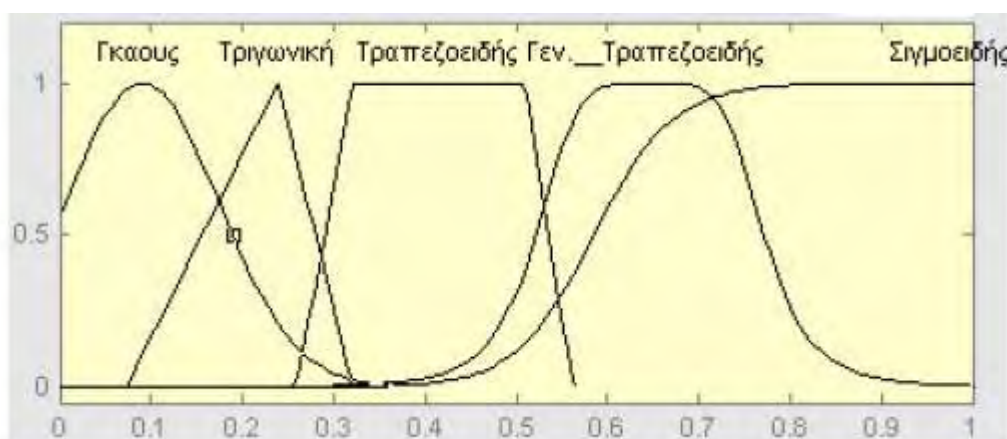
Η **συνάρτηση συμμετοχής** (ή *MF*) υποδεικνύει το βαθμό κατά τον οποίο το σύνολο x ανήκει στο σύνολο A , δηλαδή

$$\mu_A(x) : X \rightarrow [0,1] \quad (5.10)$$



Διάγραμμα 9. Χαρακτηριστική συνάρτηση συμμετοχής ενός κλασσικού ή crisp συνόλου (αριστερά) και ενός ασαφούς συνόλου (δεξιά)

Η μορφή των συναρτήσεων συμμετοχής μπορεί να είναι διαφόρων μορφών όπως τραπεζοειδής, τριγωνική, Γκαουσιανή γενικευμένη τραπεζοειδής η ακόμα και μια συγκεκριμένη αριθμητική τιμή. Οι μορφές τους φαίνονται στο παρακάτω σχήμα.



Σχήμα 12. Μορφές συναρτήσεων συμμετοχής

Τα ασαφή σύνολα συχνά αναπαρίστανται από σύνολα διατεταγμένων ζευγών (ordered pairs) ως εξής:

$$A = \int \{ \mu_A(x)/x \} \quad \eta \quad \sum \{ \mu_A(x)/x \} \quad \text{για } x \in X \quad (5.11)$$

Τα σύμβολα \int και \sum εκφράζουν το σύνολο και όχι το κλασικό ολοκλήρωμα ή το άθροισμα. Σε πιο απλή μορφή η παραπάνω σχέση (6.3) μπορεί να γραφεί ως

$$\mu_A(x) = \{ \mu_1(x)/x_1, \mu_2(x)/x_2, \dots, \mu_n(x)/x_n, \} \quad (5.12)$$

5.3 Βασικές Ιδιότητες Ασαφών Συνόλων

Ορισμένες βασικές ιδιότητες των ασαφών συνόλων (Παπαδάκης, Αδαμίδης, 2004) είναι οι εξής:

- Το ύψος (*height*) ενός ασαφούς συνόλου A , $\text{hgt}(A)$, ορίζεται ως

$$\text{hgt}(A) = \sup_{x \in X} \mu_A(x) \quad (5.13)$$

Τα ασαφή σύνολα των οποίων το ύψος είναι ίσο με το 1, ονομάζονται *κανονικά*.

- Ο κόρος (*core*) ενός ασαφούς συνόλου είναι το υποσύνολο του πεδίου ορισμού της συνάρτησης συμμετοχής για το οποίο το πεδίο τιμών παίρνει τιμές ίσες με τη μονάδα.

$$\text{core}(A) = \{ x \in X \mid \mu_A(x) = 1 \} \quad (5.14)$$

- Το σύνολο στήριξης (*support set*) ενός ασαφούς συνόλου είναι το σύνολο των στοιχείων του υπερσυνόλου αναφοράς X για το οποίο ισχύει ότι

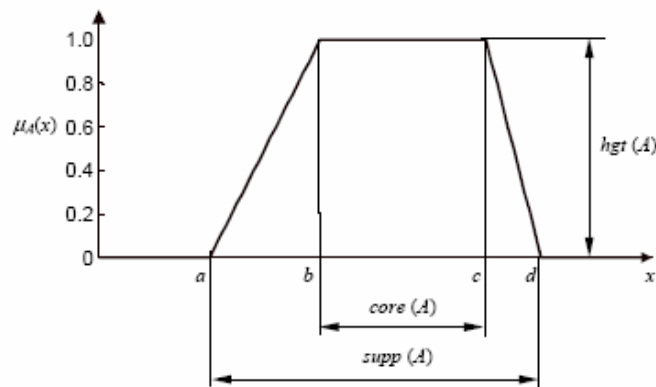
$$\text{supp}(A) = \{ x \in X \mid \mu_A(x) > 0 \} \quad (5.15)$$

Κανονικό ασαφές σύνολο (normal set) είναι το ασαφές σύνολο του οποίου ο πυρήνας δεν είναι κενό σύνολο, δηλαδή υπάρχει τουλάχιστον ένα στοιχείο του τέτοιου ώστε $\mu_A(x) = 1$.

Σύνολο α -τομής (α -cut) A_α είναι ένα κλασσικό ή crisp σύνολο το οποίο περιέχει όλα τα στοιχεία $x \in X$ που έχουν μεγαλύτερο βαθμό συμμετοχής από μία τιμά α .

$$A_\alpha = \{x \in X \mid \mu_A(x) \geq \alpha\} \quad \text{όπου} \quad 0 < \alpha \leq 1 \quad (5.16)$$

Κυρτό ασαφές σύνολο (*convex fuzzy set*) είναι το ασαφές σύνολο το οποίο έχει μονότονα αύξουσα ή μονότονα φθίνουσα συνάρτηση συμμετοχής.



Διάγραμμα 10. Έγγραφο, υποστήριξη και κόρος ενός ασαφούς συνόλου

5.4 Πράξεις Ασαφών Συνόλων

Μεταξύ των ασαφών συνόλων ορίζονται ορισμένες πράξεις όπως είναι η *ένωση* (*union*), η *τομή* (*intersection*), το *γινόμενο* (*product*), το *αλγεβρικό άθροισμα* (*probor*) και το *συμπλήρωμα* (*complement*) ενός ασαφούς συνόλου.

- Η *ένωση* (*union*) δύο ασαφών συνόλων A και B στο X ορίζεται ως εξής:

$$\mu_{A \cup B}(x) = \mu_A(x) \vee \mu_B(x) = \max[\mu_A(x), \mu_B(x)] \quad \forall x \in X \quad (5.17)$$

- Η *τομή* (*intersection*) δύο ασαφών συνόλων A και B στο X ορίζεται ως εξής:

$$\mu_{A \cap B}(x) = \mu_A(x) \wedge \mu_B(x) = \min[\mu_A(x), \mu_B(x)] \quad \forall x \in X \quad (5.18)$$

- Το **γινόμενο** (*product*) δύο ασαφών συνόλων A και B στο X ορίζεται ως εξής:

$$\mu_{A \cap B}(x) = \mu_A(x) \bullet \mu_B(x) \quad \forall x \in X \quad (5.19)$$

- Το **αλγεβρικό άθροισμα** (*probor*) δύο ασαφών συνόλων A και B στο X ορίζεται ως εξής:

$$\mu_{A \cup B}(x) = \mu_A(x) + \mu_B(x) - \mu_A(x) \cdot \mu_B(x) \quad \forall x \in X \quad (5.20)$$

- Το **συμπλήρωμα** (*complement*) ενός ασαφούς συνόλου ορίζεται ως εξής:

$$\mu_{\bar{A}} = 1 - \mu_A(x) \quad \forall x \in X \quad (5.21)$$

Αν η συνάρτηση συμμετοχής ενός ασαφούς συνόλου A είναι μικρότερη ή ίση με τη συνάρτηση συμμετοχής ενός ασαφούς συνόλου B , τότε το ασαφές σύνολο A είναι **υποσύνολο** (*subset*) του ασαφούς συνόλου B :

$$(A \subseteq B) \text{ αν } \mu_A(x) \leq \mu_B(x) \quad \forall x \in X \quad (5.22)$$

Ισότητα (*identical*) ασαφή σύνολα είναι δύο ασαφή σύνολα A και B όταν οι συναρτήσεις συμμετοχής τους σε όλα τα σημεία είναι όμοιες:

$$A = B \text{ αν } \mu_A(x) \equiv \mu_B(x) \quad \forall x \in X \quad (5.23)$$

5.5 Λεκτικοί Τροποποιητές ή Φράκτες

Τα ασαφή σύνολα εκφράζουν ασαφή έννοιες που χρησιμοποιούνται καθημερινά στη φυσική γλώσσα του ανθρώπου, όπως είναι για παράδειγμα οι λεκτικοί όροι “μικρή ταχύτητα”, “μέτρια ταχύτητα” και “υψηλή ταχύτητα”. Οι ασαφείς αυτές έννοιες έχουν τη δυνατότητα να παράγουν άλλες ασαφείς έννοιες με την χρήση *λεκτικών τροποποιητών ή φρακτών* (*linguistic modifiers or linguistic hedges*), όπως "πολύ" (very), "πολύ πολύ" (very very), "ελαφρά" (slightly), "σχεδόν" (rather), "επιπλέον" (plus) και "λιγότερο" (minus). Για παράδειγμα ο λεκτικός όρος “υψηλή ταχύτητα” με τους παραπάνω λεκτικούς τροποποιητές παράγει ασαφείς έννοιες όπως "πολύ μεγάλη" (very tall), "πολύ πολύ μεγάλη" (very very tall), "ελαφρώς υψηλή" (slightly tall) κτλ.

Αν " A " ένας λεκτικός όρος και $\mu_A(x)$ η συνάρτηση συμμετοχής του, τότε σύμφωνα με τα παραπάνω οι τροποποιημένοι όροι του που θα παραχθούν, θα έχουν

τις αντίστοιχες συναρτήσεις συμμετοχής :

- “Very A”: $\mu_{veryA}(x) = \mu_A^2(x)$ (5.24)

- “Very Very A”: $\mu_{veryveryA}(x) = \mu_A^4(x)$ (5.25)

- “Plus A”: $\mu_{plusA}(x) = \mu_A^{1.25}(x)$ (5.26)

- “Minus A”: $\mu_{minusA}(x) = \mu_A^{0.75}(x)$ (5.27)

- “Slightly A”: $\mu_{slightlyA}(x) = \sqrt{\mu_A(x)}$ (5.28)

5.6 Ασαφείς Κανόνες

Ένας ασαφής κανόνας (if-then rule) είναι στην πιο απλή μορφή του:

$$\text{"If } x \text{ is } A \text{ then } y \text{ is } B\text{"}$$

όπου το τμήμα «*If x is A*» είναι το τμήμα υπόθεσης (*premise part*) και το τμήμα «*then y is B*» είναι το τμήμα απόφασης ή συμπεράσματος (*consequent part*).

Οι ασαφείς κανόνες είναι υποθετικές προτάσεις και αποτελούν απαραίτητα δομικά στοιχεία συστημάτων εξαγωγής συμπερασμάτων. Για να γίνει αυτό κατανοητό αρκεί να ερμηνευτούν τα στοιχεία του παραπάνω κανόνα (Κίνγκ Ροβέρτος 2004):

- A, B είναι τα ασαφή σύνολα τα οποία συνδυάζονται μεταξύ τους,
- x είναι η τιμή μιας μεταβλητής εισόδου η οποία παίρνει ένα βαθμό συμμετοχής στο ασαφές σύνολο A (*διαδικασία της ασαφοποίησης "fuzzyfication"*),
- y είναι η έξοδος του συστήματος που εξάγεται από μηχανισμό συμπεράσματος (*inference engine*) σε ασαφή μορφή και δηλώνει την απόφαση του κανόνα.

Το ασαφές συμπέρασμα μετά από-ασαφοποιείται με τον μηχανισμό της *αποσαφοποίησης (defuzzification)* ώστε στο τέλος να προκύψει μία σαφής τιμή.

Σε περίπτωση περισσότερων της μίας εισόδου $x_1, x_2, x_3, \dots, x_n$ οι κανόνες έχουν την εξής μορφή:

$$\text{If } x_1 \text{ is } A_1 \text{ and } x_2 \text{ is } A_2 \text{ and } \dots x_n \text{ is } A_n \text{ then } y \text{ is } B$$

Ακολουθώς μπορούν να υπάρχουν και παραπάνω από μία εξοδοι.

5.7 Ασαφείς Ελεγκτές

Τα βασικά δομικά στοιχεία ενός *ασαφούς ελεγκτή (fuzzy controller)* είναι (Jain, 1997):

- *Η βάση γνώσης (knowledge base)* στην οποία είναι αποθηκευμένοι οι κανόνες (if-then rules) για τον έλεγχο της διαδικασίας.
- *Τα ασαφή σύνολα (fuzzy sets)* τα οποία χρησιμοποιούνται για να αναπαραστήσουν της μεταβλητές εισόδου και εξόδου με τους λεκτικούς όρους.
- *Ο ασαφοποιητής* ο οποίος μετατρέπει τις πραγματικές τιμές της εισόδου σε ασαφή σύνολα
- *Ο μηχανισμός συμπερασμού (inference engine)* ο οποίος επεξεργάζεται τις εξόδους του ασαφοποιητή και με χρήση της βάσης γνώσης εξάγει τα ασαφή σύνολα των συμπερασμάτων.
- *Ο αποσαφοποιητής (defuzzifier)* ο οποίος μετατρέπει τα συμπεράσματα που εξάγει ο μηχανισμός συμπερασμού σε πραγματικούς αριθμούς για να μπορεί να γίνει μετάδοση της δράσης ελέγχου στην διαδικασία.

Οι είσοδοι σε έναν ασαφή ελεγκτή είναι σήματα (δηλαδή σαφείς μεταβλητές) και επομένως πρέπει ο σχεδιαστής ενός ασαφούς ελεγκτή να κάνει τα ακόλουθα βήματα:

1. *Λεκτική κατανομή των εισόδων:* Ο σχεδιαστής πρέπει να αναπαραστήσει τις μεταβλητές εισόδου και εξόδου με τους λεκτικούς όρους.
2. *Διατύπωση των κανόνων:* Τα ασαφή σύνολα μετά την κατανομή των εισόδων και εξόδων αποθηκεύονται υπό τη μορφή συναρτήσεων συμμετοχής στον υπολογιστή και έπειτα ακολουθεί η διατύπωση των κανόνων.

3. **Καθορισμό του τύπου της ασαφούς συνεπαγωγής:** Μετά τη διατύπωση των κανόνων είναι απαραίτητος ο καθορισμός του ασαφούς τύπου συνεπαγωγής. Οι πιο γνωστοί τύποι ασαφούς συνεπαγωγής είναι:

α) του **Mamdani**, όπου χρησιμοποιείται ο τελεστής max-min, ο οποίος λαμβάνει το μικρότερο από τους βαθμούς συμμετοχής των ασαφοποιημένων τιμών και παράγει το *βαθμό εκπλήρωσης (degree of fulfillment)* του κάθε κανόνα. Ο βαθμός εκπλήρωσης του κανόνα δηλώνει τη βαρύτητα που έχει το αποτέλεσμα του κανόνα.

β) του **Larsen**, όπου χρησιμοποιείται ο τελεστής max-product, ο οποίος πολλαπλασιάζοντας τους βαθμούς συμμετοχής των ασαφοποιημένων τιμών υπολογίζει το βαθμό εκπλήρωσης του κανόνα.

4. **Από-ασαφοποίηση:** Η από-ασαφοποίηση παράγει μία αυστηρή ή crisp τιμή από ένα ασαφές σύνολο. Είναι με λίγα λόγια, η αντίθετη διαδικασία από την ασαφοποίηση. Οι μέθοδοι από-ασαφοποίησης είναι:

- **Από-ασαφοποίηση κεντρικής τιμής (Centroid defuzzycation ή center of area ή COA)**, όπου υπολογίζεται το κέντρο βάρους της κατανομής του ασαφούς συνόλου της εξόδου:

$$x'_{COA} = \frac{\int x \cdot \mu(x) dx}{\int \mu(x) dx} \quad (5.29)$$

- **Από-ασαφοποίηση μέσου όρου των μεγίστων (Mean of Maxima ή MOM)**, όπου υπολογίζεται ο μέσος όρος των τιμών εξόδου που έχουν τον μεγαλύτερο βαθμό συμμετοχής:

$$x'_{MOM} = \frac{1}{m} \sum \max \mu(x) \quad (5.30)$$

- **Από-ασαφοποίηση μικρότερου από τους μεγίστους (Smallest of maxima ή SOM)**, όπου υπολογίζεται από τις μέγιστες τιμές εξόδου εκείνη που έχει το μικρότερο βαθμό συμμετοχής.
- **Από-ασαφοποίηση μεγαλύτερου από τους μεγίστους (Largest of maxima ή LOM)**, όπου υπολογίζεται από τις μέγιστες τιμές εξόδου εκείνη που έχει το μεγαλύτερο βαθμό συμμετοχής.

Η μέθοδος που χρησιμοποιείται περισσότερο είναι η μέθοδος από-ασαφοποίησης της κεντρικής τιμής ή κεντρώου (Centroid ή COA), εξαιτίας της ικανότητάς της να παρουσιάζει σε σχέση με τις άλλες μεθόδους το πιο μικρό σφάλμα.

5.8 Συστήματα Ασαφούς Λογικής

Τα Συστήματα Ασαφούς Λογικής διαφοροποιούνται ανάλογα με τις μορφές που μπορεί να πάρει ένας κανόνας. Οι πιο γνωστές από αυτές τις μορφές είναι (Βολογιαννίδης, 2006):

- **Τύπου Mamdani:** είναι η μορφή που αναφέρθηκε παραπάνω, δηλαδή "*If x is A then y is B*", και ονομάστηκε έτσι προς τιμή του Ebrahim Mamdani, που ήταν ένας από τους πρώτους που εφάρμοσε την Ασαφή Λογική. Οι έξοδοι των κανόνων της μορφής αυτής είναι ασαφή σύνολα.
- **Τύπου Sugeno – Takagi:** είναι ένας κανόνας της μορφής "*If x is A then y is c*", όπου το c είναι αριθμός ή και ένα crisp ασαφές σύνολο.
- **Τύπου Takagi - Sugeno – Kang ή T-S-K:** είναι μία επέκταση του προηγούμενου κανόνα και αποτελεί έναν από τους κυριότερους τύπους ασαφούς κανόνα ο οποίος χρησιμοποιείται σε πολλές εφαρμογές ανάπτυξης ασαφών συστημάτων. Έχει τη μορφή "*If x is A then y is $c_0 + c_1 x$* ", όπου $c_0, c_1 \in R$. Οι έξοδοι των κανόνων της μορφής αυτής είναι συναρτήσεις των εισόδων.

Στη συνέχεια παρουσιάζεται το σύστημα με το οποίο πραγματοποιήθηκε η παρούσα διατριβή.

5.8.1 Το Ασαφές Μοντέλο Mamdani

Το **ασαφές μοντέλο Mamdani** προτάθηκε σαν μία πρώτη προσπάθεια ελέγχου ενός συστήματος -συγκεκριμένα ενός συνδυασμού μία ατμομηχανής και ενός λέβητα- από ένα σύνολο ασαφών κανόνων (fuzzy if-then rules). Από τις σημειώσεις του Βολογιαννίδης, (2006) αναφέρονται τα παρακάτω.

Η διαδικασία του ασαφούς συμπερασμού του μοντέλου Mamdani εκτελείται αρχικά με την **ασαφοποίηση** των τιμών των εισόδων (fuzzyfication), την **εκτίμηση των κανόνων** (rule evaluation), την **συνάθροιση** (aggregation) **των συμπερασμάτων των εξόδων** και τέλος την **από-ασαφοποίηση** τους (defuzzification). Παρακάτω

αναπαρίστανται τα βήματα της διαδικασίας αυτής.

1ο βήμα: Στη διαδικασία της **ασαφοποίησης** καθορίζεται ο βαθμός κατά τον οποίο οι τιμές των εισόδων ανήκουν στο καθένα από τα ασαφή σύνολα.

2ο βήμα: Στη συνέχεια αφού οι είσοδοι ασαφοποιηθούν, εφαρμόζονται στα υποθετικά μέρη (antecedents) των κανόνων. Αν ένας κανόνας έχει πολλές υποθέσεις, τότε μέσω των τελεστών AND ή OR δίνεται ένα αριθμός που αντιπροσωπεύει το αποτέλεσμα της εκτίμησης του μέρους της υπόθεσης.

Αν χρησιμοποιηθεί ο τελεστής **AND** τότε υπάρχουν δύο περιπτώσεις: α) Αν ο AND χρησιμοποιείται ως **min** (τελεστής ελαχίστου *Mamdani*) τότε δίνεται ο μικρότερος αριθμός που εκφράζει την εκτίμηση του κανόνα, ενώ β) αν χρησιμοποιείται ως **prod** (τελεστής γινομένου *Larsen*) τότε δίνεται ένας αριθμός που εκφράζει το γινόμενο της εκτίμησης του κανόνα.

Επίσης αν χρησιμοποιηθεί ο τελεστής **OR** τότε υπάρχουν δύο περιπτώσεις: α) Αν ο OR χρησιμοποιείται ως **max** (τελεστής μεγίστου *Mamdani*) τότε δίνεται ο μεγαλύτερος αριθμός της αποτίμησης του κανόνα, ενώ β) αν χρησιμοποιείται ως **probor** (2.12) τότε δίνεται ένας αριθμός που εκφράζει το αλγεβρικό άθροισμα της εκτίμησης του κανόνα.

Ο αριθμός αυτός εφαρμόζεται στη συνάρτηση συμμετοχής του συμπεράσματος (consequent) και η συνάρτηση συμμετοχής του συμπεράσματος παρουσιάζεται είτε με ευθεία αποκοπή (clipping) είτε με διαβαθμισμένη αποκοπή (scaling) στο επίπεδο της τιμής της υπόθεσης του κανόνα. Η μέθοδος που η συνάρτηση συμμετοχής του συμπεράσματος παρουσιάζεται με ευθεία αποκοπή ονομάζεται **Συσχέτιση Ελαχίστου (Correlation Minimum)** ενώ η μέθοδος που παρουσιάζεται με διαβαθμισμένη αποκοπή ονομάζεται **Συσχέτιση Γινομένου (Correlation Product)**.

Η μέθοδος της Συσχέτισης Ελαχίστου προτιμάται για την απλότητα και τους γρήγορους μαθηματικούς της υπολογισμούς, παρόλο που παρουσιάζει απώλεια πληροφορίας εξαιτίας του ότι αποκόπονται τα πάνω μέρη των συναρτήσεων συμμετοχής. Σε αντίθεση η μέθοδος της Συσχέτισης Γινομένου διατηρεί καλύτερα το σχήμα του ασαφούς συνόλου με αποτέλεσμα τη μικρότερη απώλεια πληροφορίας, καθώς η συνάρτηση συμμετοχής του συμπεράσματος του κανόνα προσαρμόζεται

στον πολλαπλασιασμό των βαθμών συμμετοχής της τιμής των υποθέσεων του κανόνα.

3ο βήμα: Σε αυτό το σημείο τα συμπεράσματα όλων των κανόνων συναθροίζονται.

Συνάθροιση (Aggregation) ονομάζεται η διαδικασία της συνένωσης των συμπερασμάτων όλων των κανόνων. Συγκεκριμένα οι συναρτήσεις συμμετοχής των συμπερασμάτων συνδυάζονται σε ένα ασαφή σύνολο.

4ο βήμα: Η *από-ασαφοποίηση* είναι η διαδικασία μετατροπής του ασαφούς συνόλου σε μία crisp τιμή. Υπάρχουν όπως αναφέρθηκε σε προηγούμενες παραγράφους πολλές μέθοδοι από-ασαφοποίησης όπως είναι η COA, MOM, SOM, LOM κτλ.

6. Υδρολογία της περιοχής της λίμνης Κάρλας

Στο κεφάλαιο αυτό θα παρουσιαστούν τα υδρολογικά χαρακτηριστικά της περιοχής της λίμνης Κάρλα καθώς και τα τεχνικά χαρακτηριστικά της λίμνης. Τα παρακάτω αναφέρονται από την ιστοσελίδα <http://el.wikipedia.org/wiki/>.

6.1 Η λίμνη Κάρλα

Η λίμνη Κάρλα, ή λίμνη Βοιβηίδα (παλαιότερα) και κατά την αρχαιότητα Βοιβής, ή Βοιβιάς, ή λίμνη της Πελασγιώτιδος, είναι λίμνη η οποία αποξηράνθηκε το 1962, επειδή την εποχή εκείνη προκαλούσε πλημμύρες στις πέριξ γεωργικές καλλιέργειες, ενώ ορισμένες βαλτώδεις εκτάσεις γύρω της προκαλούσαν την έντονη παρουσία εντόμων. Βρισκόταν νοτιοανατολικά της Λάρισας, κοντά στις βόρειες πλαγιές του Πηλίου, στα όρια των Νομών Λαρίσης και Μαγνησίας. Ωστόσο, διαπιστώθηκε ότι οι επιπτώσεις στο οικοσύστημα της περιοχής ήταν μεγαλύτερες από το όφελος που προσέφερε η αποξήρανσή της. Έτσι, σήμερα γίνεται προσπάθεια για αναδημιουργία της λίμνης, που θα έχει μέγεθος 38.000 στρέμματα. Η αρχική λίμνη είχε μέγεθος 180- 195 χιλιάδες στρέμματα και το βάθος της έφτανε τα 4-6 μ.

Το Δεκέμβριο του 2010 άρχισε η άντληση νερού από τον ποταμό Πηνειό, ενώ όταν τεθούν σε πλήρη λειτουργία τα πέντε αντλιοστάσια του Πηνειού θα τροφοδοτούν τη λίμνη με 14 κυβικά μέτρα νερού το δευτερόλεπτο. Επίσης στην ανασύσταση της λίμνης ένα ποσοστό του εισερχόμενου νερού θα προέρχεται από την χειμερινή απορροή της λεκάνης. Το έργο αναμένεται να συμβάλλει μεταξύ άλλων στην αντιπλημμυρική προστασία, την αποκατάσταση του υπόγειου υδροφόρου ορίζοντα, την άρδευση 100.000 στρεμμάτων, την ενίσχυση της ύδρευσης της πόλης του Βόλου με 15 εκατ. κυβικά μέτρα νερού ετησίως, το 50% των αναγκών της πόλης. Κατά τη διάρκεια των εργασιών για την ανασύσταση της λίμνης ήρθαν στο φως σημαντικά αρχαιολογικά ευρήματα (ενδεικτικά: κοσμήματα, αγγεία, νομίσματα, κλίβανοι, υπολείμματα κτιρίων, αγωγοί, τάφοι). Το υπουργείο Πολιτισμού αποφάσισε μάλιστα τη διατήρηση και μετατροπή σε επισκέψιμο αρχαιολογικό χώρο, ενός τμήματος προϊστορικού οικισμού, έκτασης 3,5 στρεμμάτων, του τέλους της Νεολιθικής Εποχής.

Η λίμνη δεχόταν σημαντικές εισροές γλυκού νερού διότι, πέρα από τα νερά της λεκάνης απορροής της ,ήταν αποδέκτης μέρους της πλημμυρικής παροχής του Πηνειού μέσω του ρεύματος Ασμάκι . Οι εκροές νερού από τη λίμνη οφείλονταν κυρίως στην εξάτμιση και τις απώλειες νερού από τον πυθμένα και τις όχθες της. Η

εισροή σημαντικών όγκων νερού, σε συνδυασμό με το μικρό βάθος της λίμνης, ευνοούσαν την ιχθυοπαραγωγή, την υδρόβια βλάστηση και τη φιλοξενία υδρόβιων πτηνών. Όσον αφορά την επιφάνεια της λίμνης, η μεγαλύτερη παρατηρηθείσα έκτασή της είναι περίπου 180 Km³ το 1920 εξαιτίας των πλημμύρων του Πηνειού εκείνη την περίοδο και η δεύτερη μεγαλύτερη 145 Km³ το 1930.



Εικόνα 2. Τοποθεσία λίμνης Κάρλας (Πηγή : <http://el.wikipedia.org/wiki>)

Τα κατασκευαστικά χαρακτηριστικά του ταμιευτήρα της Κάρλας σύμφωνα με τα οποία γίνεται η ανασύστασή της φαίνονται στον παρακάτω πίνακα (Παπανίκος, 2008):

Πίνακας 4. Χαρακτηριστικά του ταμιευτήρα της Κάρλας (1 hm³=1.000.000 m³)

Χαρακτηριστικά	Τιμή
Εμβαδόν ταμιευτήρα(Km ²)	38
Ολική χωρητικότητα (hm ³)	183.88
Διαθέσιμος όγκος νερού αρδεύσεως (hm ³)	84.13
Όγκος ανάσχεσης πλημμύρων (hm ³)	42.74
Νεκρός όγκος ταμιευτήρα (hm ³)	57.01
Μήκος αναχωμάτων (Km)	14
Υψόμετρο στέψης αναχωμάτων(m)	52.50
Ανώτατη στάθμη πλημμύρας (m)	50.00
Ανώτατη στάθμη αρδεύσεως(m)	48.80
Κατώτερη στάθμη αρδεύσεως(m)	46.40
Χαμηλότερο σημείο πυθμένα(m)	43.50
Ετήσια διακύμανση στάθμης(m)	2.80
Μέγιστο βάθος στην κατώτατη στάθμη αρδεύσεως (m)	2.90

6.2 Περιγραφή της μορφολογίας της λεκάνης της λίμνης Κάρλας

Η περιγραφή της λεκάνης της λίμνης Κάρλας μπορεί να περιγραφεί με τα παρακάτω στοιχεία (Παπανίκος, 2008) :

- Το έδαφος είναι ομαλό με κλίσεις μικρότερες του 1% εκτός από τα άκρα της λίμνης όπου συναντώνται κλίσεις έως και 5%
- Στην περιοχή της πρώην λίμνης οι κλίσεις του εδάφους είναι ανύπαρκτες

- Το χαμηλότερο υψόμετρο της περιοχής της Κάρλας είναι 44 μέτρα
- Τα μέγιστα υψόμετρα της περιοχής είναι περίπου 52 μέτρα και κατά τόπους 58 μέτρα
- Ο πυθμένας της λίμνης παρουσιάζει καλή στεγανότητα ενώ παρουσιάζονται διαρροές σε τμήματα της φυσικής περιμέτρου της λίμνης
- Ο ταμιευτήρας της λίμνης των 38Km^3 χωροθετείται στο χαμηλότερο τμήμα της πρώην λίμνης κοντά στο χωριό Κανάλια
- Τα εδάφη που θα κατακλύσει είναι υποβαθμισμένα και κατώτερης ποιότητας

Η φυσική λεκάνη απορροής της Κάρλας έχει συνολική έκταση 1663 Km^2 και βρίσκεται στο ΝΑ άκρο της πεδιάδας της Λάρισας και παρουσιάζει μορφή κλειστής επιμήκους λεκάνης μήκους 35 Km και πλάτους 9-15 Km. Η λεκάνη έχει όρια στο Βορρά τον ποταμό Πηνειό και τον ορεινό όγκο της Όσσας, στην ανατολή τους ορεινούς όγκους του Πηλίου και του Μαυροβουνίου, στο νότο το Χαλκοδόνιο όρος και το Μεγαβούνι και στη δύση το Φυλλήιον όρος.



Εικόνα 3. Η νεοσυσταθείσα λίμνη Κάρλα και το οικοσύστημά της (Πηγή:<http://el.wikipedia.org/wiki>)

6.3 Κλίμα και υδρολογικά στοιχεία της λίμνης Κάρλα

Το κλίμα στην περιοχή της λίμνης χαρακτηρίζεται σαν ηπειρωτικό ημίξηρο, το οποίο συνεπάγεται από θερμά και ξηρά καλοκαίρια και υγρούς χειμώνες. Η ξηρά περίοδος διαρκεί από τον Μάιο μέχρι τον Σεπτέμβριο και η υγρή από τον Οκτώβριο

μέχρι τον Απρίλιο του κάθε έτους. Οι ακραίες θερμοκρασίες που έχουν καταγραφεί έως τώρα (σταθμός Λαρίσης) είναι 45 °C τον Αύγουστο του 1958 και -17 °C τον Ιανουάριο του 1942. Οι μέσες μηνιαίες τιμές της θερμοκρασίας του αέρα και της υγρασίας είναι οι παρακάτω (σταθμός Λαρίσης , 1948-1967) , (Παπανίκος, 2008) :

Πίνακας 5. Μέσες μηνιαίες τιμές υγρασίας και θερμοκρασίας

Θερμοκρασία αέρα	Τιμή
Μέση ετήσια	16,3 °C
Μεγίστη μηνιαία (Ιούλιος)	28.1 °C
Ελάχιστη μηνιαία (Ιανουάριος)	5.4 °C
Σχετική υγρασία	Τιμή
Μέση ετήσια	68%
Μέγιστη μηνιαία (Ιανουάριος)	85%
Ελάχιστη μηνιαία (Ιούλιος)	51%

Οι άνεμοι στην περιοχή της λίμνης είναι ισχυροί και έχουν καταγραφεί άνεμοι έως και 110 Km/h. Παγετοί παρατηρούνται συνήθως την περίοδο του Δεκεμβρίου – Μαρτίου και οι αντίστοιχες μέρες παγετού ανέρχονται κατά μέσο όρο σε 34 κάθε έτος και οι αντίστοιχες ημέρες χιονόπτωσης σε 4 κάθε έτος.

Οι ετήσιες βροχοπτώσεις και οι απορροές της λεκάνης έχουν υπολογιστεί με βάση τις μετρήσεις 1951-1981 των σταθμών Λαρίσης, Σπηλιάς και Σωτηρίου και είναι οι παρακάτω:

Πίνακας 6. Βροχόπτωση και απορροές της περιοχής της λίμνης Κάρλας

Μέσος όρος βροχόπτωσης	558 mm/έτος
Μέσος όρος απορροής	43 mm/έτος
Βροχόπτωση για συχνότητα 1:5	460 mm/έτος
Απορροή για συχνότητα 1:5	24 mm/έτος

Με βάση τα στοιχεία από το 1961 – 1981 του εξατμισίμετρου του μετεωρολογικού σταθμού Σωτηρίου η ετήσια εξάτμιση στην περιοχή υπολογίζεται σε περίπου 1000 mm ετησίως.

6.4 Υδρογεωλογικά στοιχεία

Από το 1974 διάφορες υπηρεσίες παρακολουθούν την εξέλιξη των αποθεμάτων υπόγειου νερού στους υδροφόρους ορίζοντες τόσο των προσχώσεων όσο και των μαρμάρων. Στην περιοχή της Κάρλας και στα κράσπεδα αυτής αναπτύσσονται δυο τύποι υδροφόρων οριζόντων, οι υπό πίεση στις σύγχρονες αποθέσεις του πεδινού τμήματος και οι καρστικοί στα μάρμαρα της ανατολικής και νότιας περιμέτρου. Η εξαφάνιση της λίμνης στέρησε τους υδροφόρους ορίζοντες την κυριότερη πηγή εμπλουτισμού τους και αν συνυπολογίσουμε και την εντατική γεωργική εκμετάλλευση της περιοχής όπου απαιτούνται μεγάλοι όγκοι νερού για άρδευση τότε κατανοούμε το μεγάλο πρόβλημα που έχει δημιουργηθεί (Παπανίκος, 2008) .

6.4.1 Υδατικό ισοζύγιο Λίμνης Κάρλας

Το υδατικό ισοζύγιο της νεοσυσταθείσας λίμνης Κάρλας περιγράφεται παρακάτω. Το πρακτικώς εκμεταλλεύσιμο υδατικό δυναμικό , με την κατασκευή όλων των ταμιευτήρων , είναι της τάξης των $623 \times 10^6 \text{ m}^3$ ετησίως για το σύνολο της Θεσσαλίας. Σε αυτά μπορούν να προστεθούν και $400 \times 10^6 \text{ m}^3$ από την άντληση υπόγειου νερού ετησίως χωρίς καμιά επιβάρυνση στο περιβάλλον. Συνεπώς συνολικά μπορούν να χρησιμοποιηθούν $1023 \times 10^6 \text{ m}^3$. Όμως οι ετήσιες ανάγκες σε νερό της περιοχής ανέρχονται σε $1836 \times 10^6 \text{ m}^3$, έτσι προκύπτει ένα έλλειμμα της τάξης των $800 \times 10^6 \text{ m}^3$. Η λεκάνη απορροής της λίμνης που πρόκειται να αποχετεύεται με φυσική ροή στον ταμιευτήρα καταλαμβάνει συνολικά έκταση 1050 Km^2 . Το τυπικό σενάριο του ισοζυγίου (χωρίς μεγάλες περιόδους ξηρασίας), που προέκυψε με βάση το μέσο όρο των ετήσιων απολήψεων από τον ποταμό Πηνειό περιγράφονται παρακάτω (Παπανίκος, 2008):

Εισερχόμενες παροχές

Εκτρεπόμενες παροχές Πηνειού: Οι ετήσιες κατά μέσο όρο απολήψεις από τον Πηνειό , λαμβάνοντας υπόψη ένα ποσοστό απωλειών της τάξης των 12-15% κατά την

μεταφορά, είναι $68,58 \times 10^6 \text{ m}^3$ ετησίως. Η ποσότητα αυτή ισοκατανέμεται στην περίοδο Οκτωβρίου – Μαΐου.

Επιφανειακές απορροές: Οι επιφανειακές απορροές που θα διοχετεύονται στην Κάρλα αφορούν την υψηλή περιοχή στην οποία βρίσκονται τέσσερις συλλεκτήρες και την λεκάνη απορροής που απορρέει απευθείας στον ταμιευτήρα. Επίσης όσον αφορά την χαμηλή περιοχή το νερό θα αποχετεύεται στον ταμιευτήρα με άντληση. Ο μέσος όρος είναι 43mm/έτος.

Βροχόπτωση: Η είσοδος νερού λόγω βροχόπτωσης πάνω από τον ταμιευτήρα , επιφάνειας 38 Km^2 εκτιμάται σε 558 mm/έτος με τυπική κατανομή 15% την περίοδο Ιούνιος – Σεπτέμβριος και 85% την περίοδο Οκτώβριος – Μάιος.

Εξεργόμενες παροχές

Αρδεύσεις: Οι παροχές που αντλούνται για την κάλυψη των αναγκών άρδευσης εκτιμώνται σε $54 \times 10^6 \text{ m}^3$ για την περίοδο από Μάιο έως Αύγουστο και σε $7 \times 10^6 \text{ m}^3$ για τον μήνα Σεπτέμβριο.

Εξατμισοδιαπνοή: Η ετήσια εξάτμιση υπολογίζεται σε 1000 mm από τα οποία τα 650 mm από Ιούνιο έως Σεπτέμβριο.

Διαφυγές - διήθηση: Οι διαφυγές από τις όχθες του ταμιευτήρα υπολογίζονται σε $2 \times 10^6 \text{ m}^3$ ανά μήνα.

6.4.2 Ισοζύγιο νερού στη λίμνη

Με βάση τις μελέτες που έχουν πραγματοποιηθεί προέκυψαν κάποιες σχέσεις οι οποίες περιγράφουν τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά του ταμιευτήρα.

$$\Sigma Y(t) = 0.0308 \times Y(t) + 44.343 \quad (6.1)$$

$$E(t) = 0.3275 \times \Sigma Y(t) + 19.46 \quad \text{εφόσον } \Sigma Y(t) > 45.85 \text{m} \quad (6.2)$$

$$E(t) = 15.488 \times \Sigma Y(t) - 675.63 \quad \text{εφόσον } \Sigma Y(t) \leq 45.85 \text{m} \quad (6.3)$$

$$V(t+\Delta t) = V(t) + \Delta Q \times \Delta t \quad (6.4)$$

Όπου $\Sigma Y(t)$: η στάθμη του νερού στο χρόνο t σε m.

$Y(t)$: ο όγκος του νερού στο χρόνο t σε 10^6 m^3

$E(t)$: η επιφάνεια του ταμιευτήρα στο χρόνο t σε 10^6 m^2

$V(t)$: ο όγκος του νερού στο χρόνο t σε 10^6 m^3

ΔQ : η μεταβολή της παροχής στο χρονικό βήμα Δt σε 10^6 m^3

Δt : χρονικό βήμα σε μέρες

Οι χαρακτηριστικές στάθμες λειτουργίας του ταμιευτήρα της Κάρλας, όπως παρουσιάστηκαν στον Πίνακα 4 έχουν ως εξής:

- **Κατώτατη στάθμη ύδατος** 46,40 m
- **Ανώτατη στάθμη άρδευσης** 48,80 m
- **Ανώτατη στάθμη πλημμύρας** 50 m

7. Στατιστική επεξεργασία των τιμών της βροχόπτωσης της περιόδου 1960-1990 και 2070-2100 του μοντέλου RCAO

7.1 Μετεωρολογικά δεδομένα της περιοχής την περίοδο 2070-2100 από τα μοντέλα RCAO, HIRHAM, REMO

Στην παρούσα εργασία χρησιμοποιούνται τα μελλοντικά δεδομένα της περιόδου 2070-2100 που προέρχονται από μοντέλα πρόγνωσης των κλιματικών αλλαγών. Η επιλογή αυτή έγινε ανάμεσα από τρία RCM's, το RCAO, το HIRHAM και το REMO. Αρχικά έπρεπε να βρεθούν οι συντεταγμένες της περιοχής της Κάρλας σε κάθε μοντέλο ξεχωριστά. Οι συντεταγμένες rlon-rlat της περιοχής διαφέρουν από μοντέλο σε μοντέλο εξαιτίας της περιστροφής και της καμπυλότητας της Γης, αλλά και των μεταβλητών με τις οποίες γίνονται οι υπολογισμοί του μοντέλου (Javier G. Corripí, 2000). Με βάση αυτές τις διαφορές του περιστρεφόμενου πλέγματος (rotated grid), με το οποίο το μοντέλο έχει ψηφιοποιήσει την κάθε περιοχή, αρχικά βρέθηκαν οι πίνακες μετασχηματισμού από γεωγραφικές συντεταγμένες lon-lat σε περιστροφικές rlon-rlat. Οι συντεταγμένες rlon-rlat του κάθε μοντέλου δίνονται από πίνακες οι οποίοι βρίσκονται στα δεδομένα του κάθε μοντέλου και έγινε η αντιστοίχιση. Αφού έγινε η λήψη των πινάκων rlon-rlat για το κάθε μοντέλο στη συνέχεια με τη χρήση των γεωγραφικών συντεταγμένων 39° 32'N, 22° 42'E έγινε η αντιστοίχιση στις περιστρεφόμενες συντεταγμένες που αντιστοιχούν στο κελί του πλέγματος που βρίσκεται η λίμνη. Στον πίνακα 5 παρουσιάζονται οι συντεταγμένες του κάθε μοντέλου ξεχωριστά.

Πίνακας 7. Συντεταγμένες rlon-rlat των μοντέλων

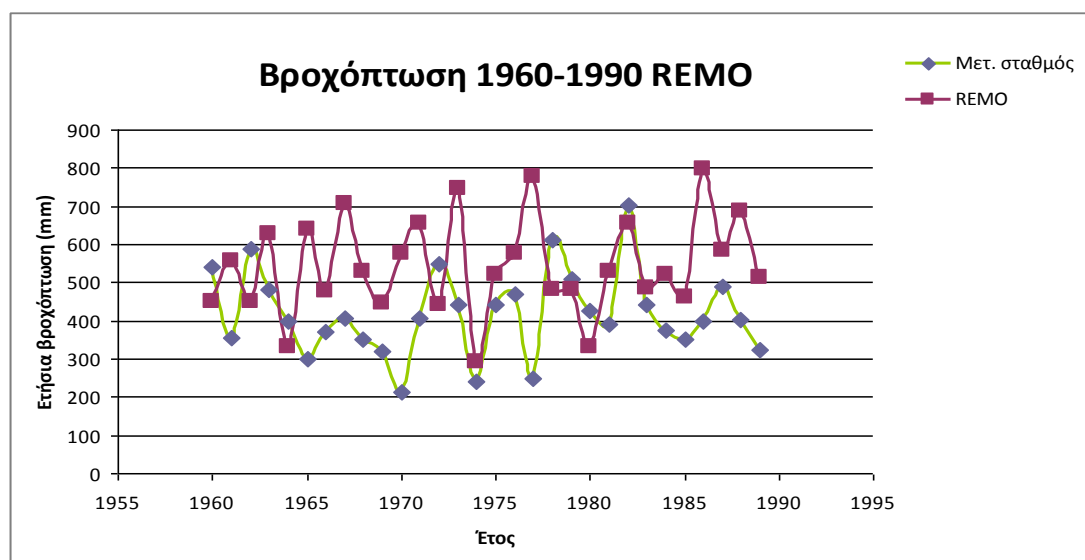
Μοντέλο	rlon	lon	lon σταθμού E.M.Y.	rlat	lat	lat σταθμού E.M.Y.
RCAO	60	39,32	39,39	11	22,42	22,27
HIRHAM	56			11		
REMO	51			25		

Με βάση τις συντεταγμένες των RCM's έγινε η λήψη των μηνιαίων τιμών της βροχόπτωσης και της θερμοκρασίας του κάθε μοντέλου τόσο για την περίοδο 1960-

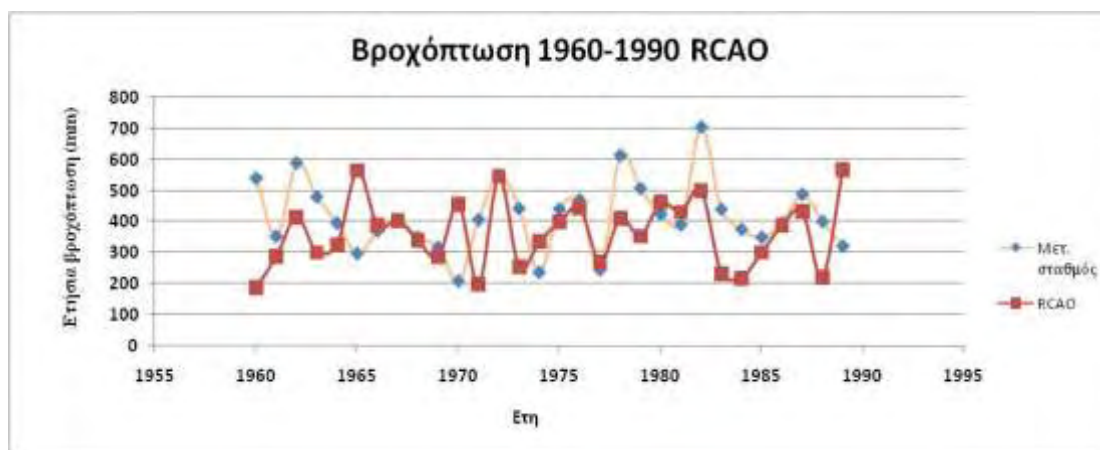
1990 οι οποίες χρησιμοποιούνται για τον έλεγχο και διόρθωση του μοντέλου όσο και οι μελλοντικές τιμές των ετών 2070-2100. Οι τιμές του RCAO αντιστοιχούν στο σενάριο A2. Οι ετήσιες τιμές της βροχόπτωσης παρουσιάζονται στο Παράρτημα Πίνακας 1 . Σε κάθε πίνακα παρουσιάζονται και οι τιμές που έχουν ληφθεί για την περίοδο 1960-1990 από τον μετεωρολογικό σταθμό ώστε να γίνει η σύγκριση με τις τιμές του μοντέλου. Στη συνέχεια δίνονται τα διαγράμματα που αφορούν τις τιμές των μοντέλων (ετήσια βροχόπτωση-μηνιαία θερμοκρασία) για την περίοδο 1960-1990.



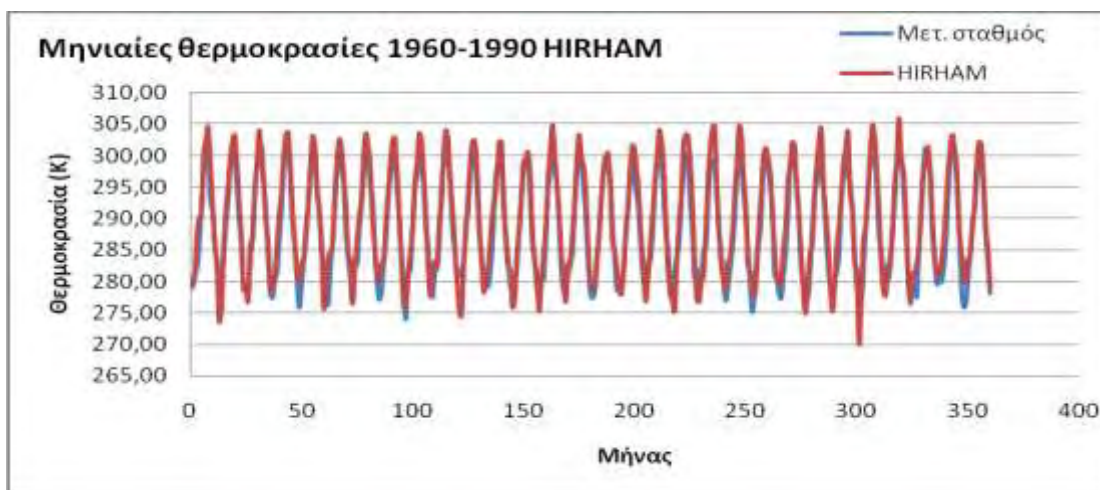
Διάγραμμα 11. Ετήσια βροχόπτωση μοντέλου HIRHAM



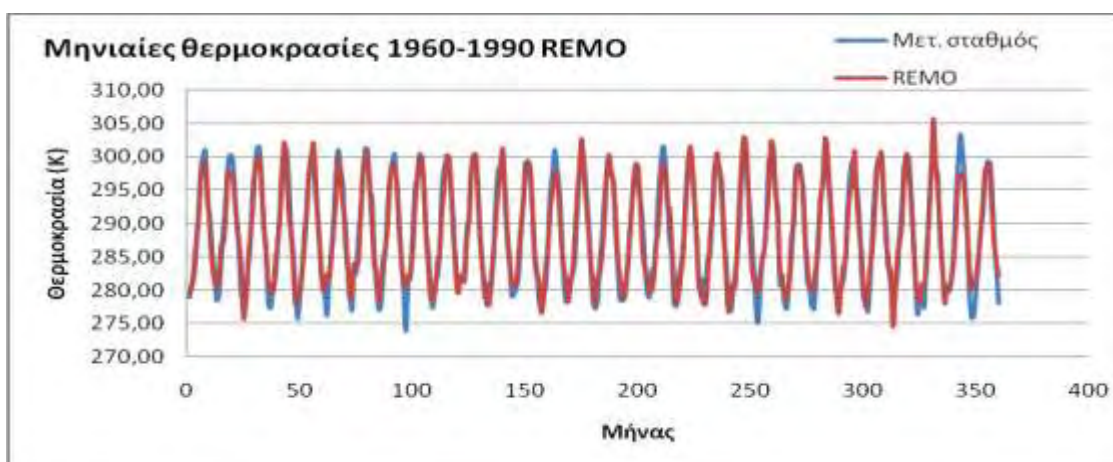
Διάγραμμα 12. Ετήσια βροχόπτωση μοντέλου REMO



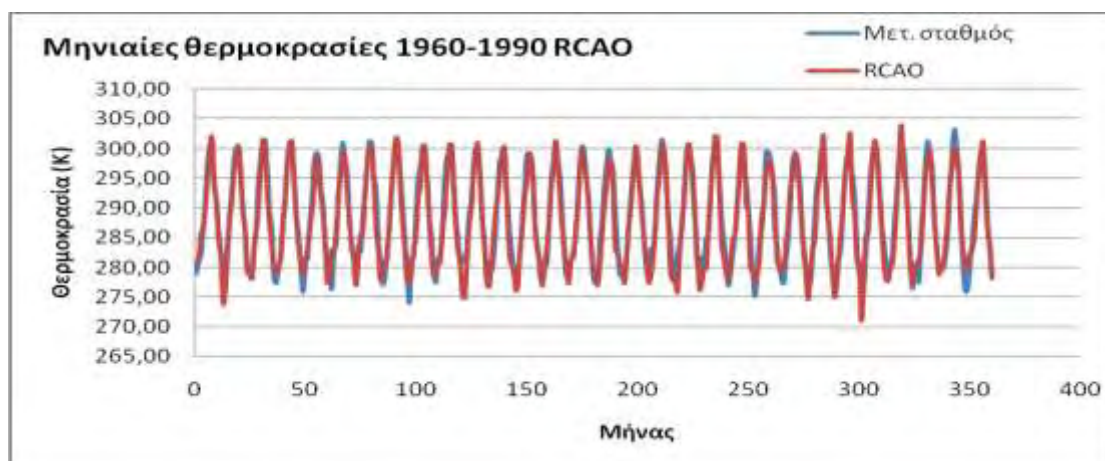
Διάγραμμα 13. Ετήσια βροχόπτωση μοντέλου RCAO



Διάγραμμα 14. Μηνιαίες θερμοκρασίες μοντέλου HIRHAM



Διάγραμμα 15. Μηνιαίες θερμοκρασίες μοντέλου REMO



Διάγραμμα 16. Μηνιαίες θερμοκρασίες μοντέλου RCAO

Από τις χρονοσειρές της βροχόπτωσης των τριών αυτών μοντέλων παρατηρούμε ότι για τα δυο πρώτα μοντέλα, το HIRHAM και το REMO υπάρχουν μεγάλες αποκλίσεις από τις μετρήσεις του μετεωρολογικού σταθμού. Σε μερικές περιπτώσεις αυτή η απόκλιση μπορεί να προσεγγίζει και τα 600 mm ετησίως και δεν είναι δυνατόν να βρεθεί κάποια συνάρτηση διόρθωσης των μελλοντικών μετρήσεων σε σχέση με τις μετρήσεις του μετεωρολογικού σταθμού. Παρατηρώντας τις τιμές του RCAO σε σχέση με τις πραγματικές βλέπουμε ότι οι τιμές είναι σχετικά κοντά και το πιο σημαντικό είναι ότι συμπίπτουν σε ικανοποιητικό βαθμό τα τοπικά μέγιστα και τα τοπικά ελάχιστα των δυο αυτών καμπυλών. Με μια στατιστική επεξεργασία των τιμών των παραπάνω καμπυλών είναι δυνατόν να βρεθούν κάποιοι συντελεστές διόρθωσης. Για τους παραπάνω λόγους οι τιμές που επιλέχθηκαν να χρησιμοποιηθούν στην παρούσα εργασία είναι του RCM RCAO

Παρατηρούμε ότι όσον αφορά τη θερμοκρασία υπάρχουν κάποιες μικρές διακυμάνσεις των 3-4 βαθμών Κελσίου σε κάποιους μήνες σε όλα τα μοντέλα. Γενικά όμως διακρίνουμε ότι οι τιμές του RCAO είναι πιο 'κοντά' στις πραγματικές του μετεωρολογικού σταθμού, πράγμα το οποίο ενισχύει την απόφασή μας να επιλεχθούν για την παρούσα εργασία.

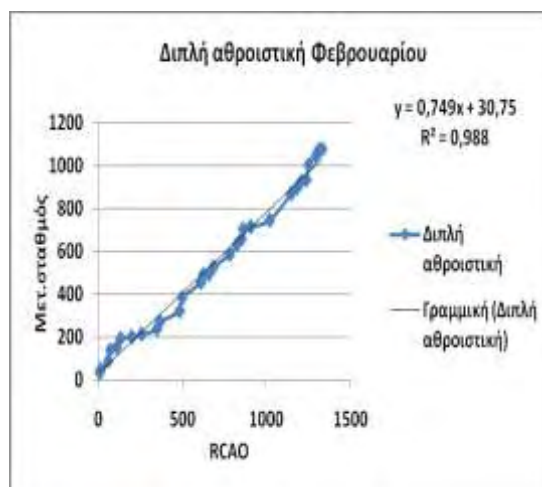
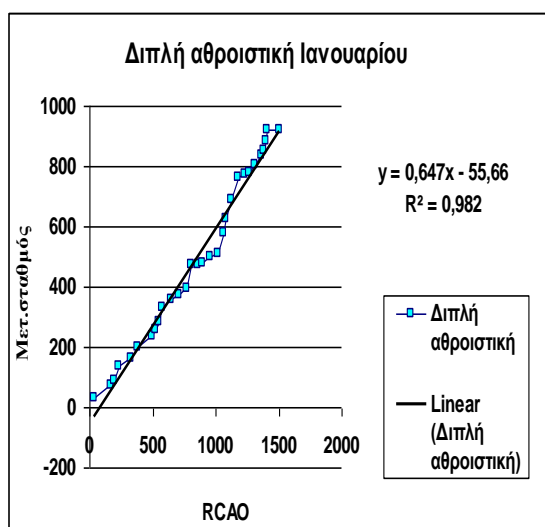
7.2 Επεξεργασία των τιμών της βροχόπτωσης της περιοχής την περίοδο 1960-1990 από το μοντέλο RCAO

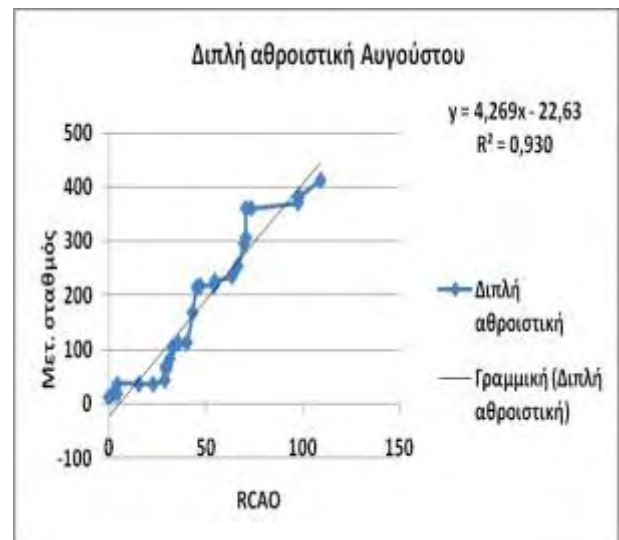
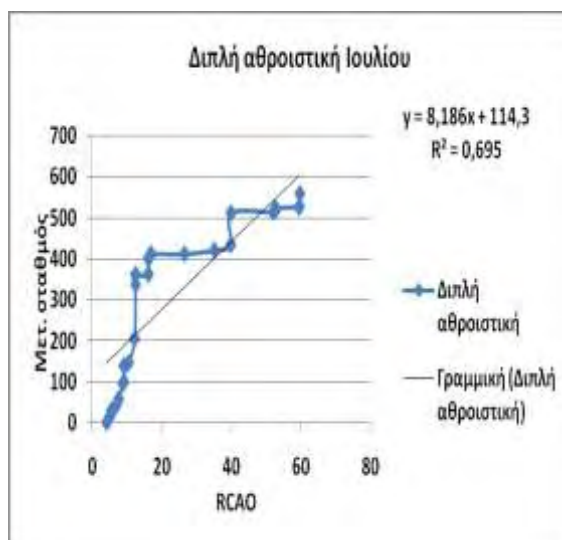
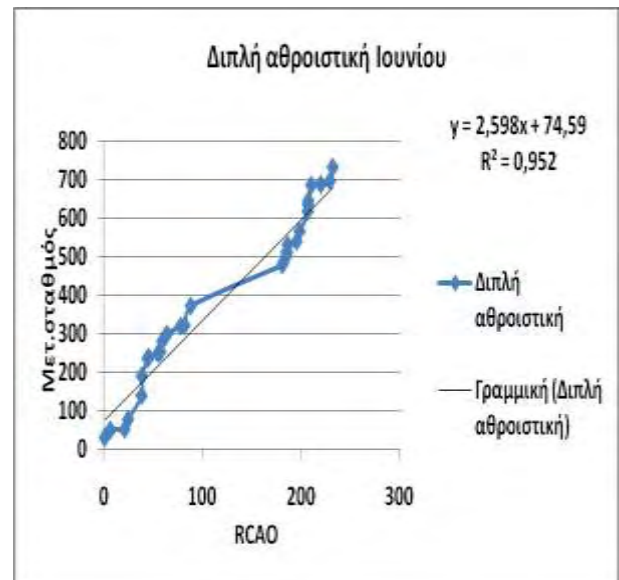
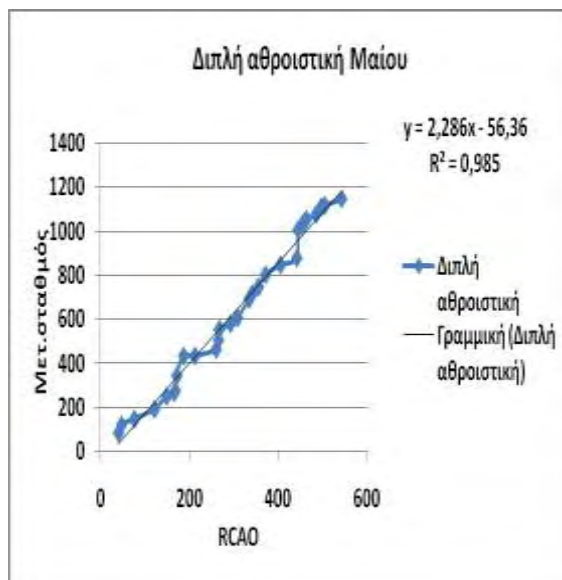
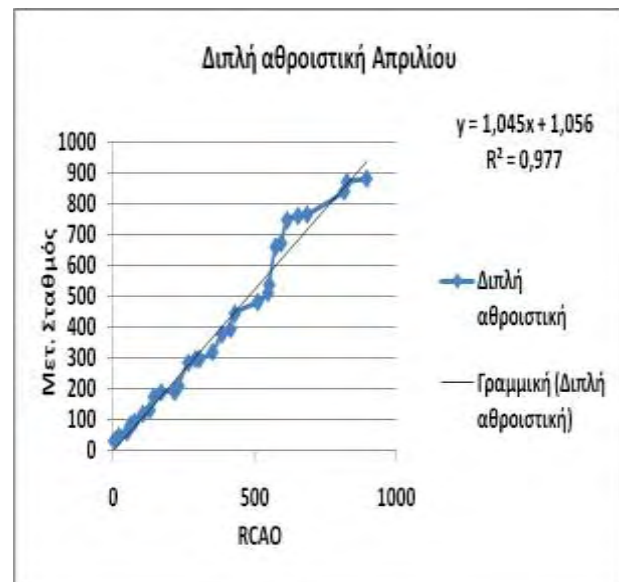
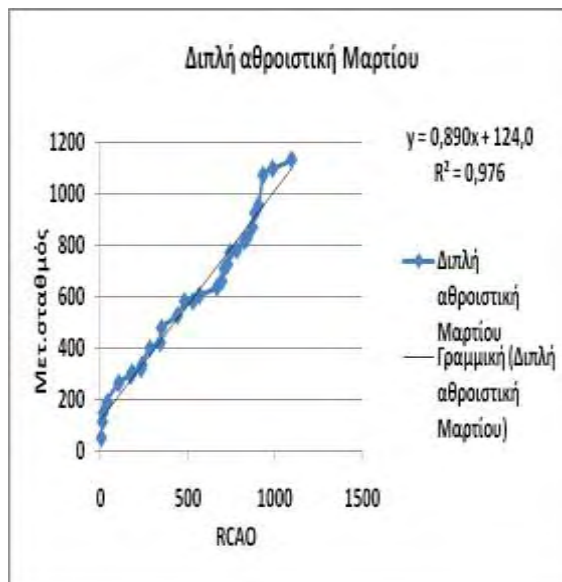
Οι μηνιαίες τιμές της βροχόπτωσης της περιόδου 1960-1990 του RCAO, στη συνέχεια ταξινομήθηκαν ανά μήνα και ανά έτος. Με βάση αυτή την ταξινόμηση έγινε δυνατό να παραχθούν κάποια στατιστικά στοιχεία που όμως μας δίνουν κάποιες σημαντικές πληροφορίες. Τα στατιστικά στοιχεία που βρέθηκαν είναι ο μέσος όρος, τα μέγιστα και τα ελάχιστα του κάθε μήνα αλλά και τα αντίστοιχα ετήσια της περιόδου που μελετούμε. Η ταξινόμηση δίνεται στο Παράρτημα Πίνακας 2. Βρέθηκε ο μέσος όρος του κάθε μήνα για τη διάρκεια των 30 ετών τόσο του RCAO όσο και του μετεωρολογικού σταθμού. Παρατηρούμε ότι τους καλοκαιρινούς μήνες το μοντέλο μας δίνει αρκετά χαμηλότερο μέσο όρο σε σχέση με τις πραγματικές τιμές (Πίνακας 8). Επίσης όσον αφορά τους υπόλοιπους μήνες υπάρχουν κάποιες διακυμάνσεις αλλά είναι σχετικά μικρότερες. Μπορούμε να πούμε ότι το μοντέλο τους χειμερινούς – ανοιξιάτικους μήνες έχει τιμές βροχόπτωσης σχετικά μεγαλύτερες από τις πραγματικές. Αυτό που είναι ενδιαφέρον είναι ότι η συνολική βροχόπτωση της περιόδου 1960-1990 του μοντέλου σε σχέση με την πραγματική έχει μια διαφορά της τάξης του 8%. Η τιμή του μοντέλου είναι 10908 mm ενώ οι μετρήσεις του σταθμού είναι 12575mm. Με βάση αυτό συμπεραίνουμε ότι οι μηνιαίες τιμές του μοντέλου μπορεί να έχουν μια διακύμανση σε σχέση με τις πραγματικές αλλά η συνολική βροχόπτωση όλων των ετών παραμένει σχεδόν αμετάβλητη.

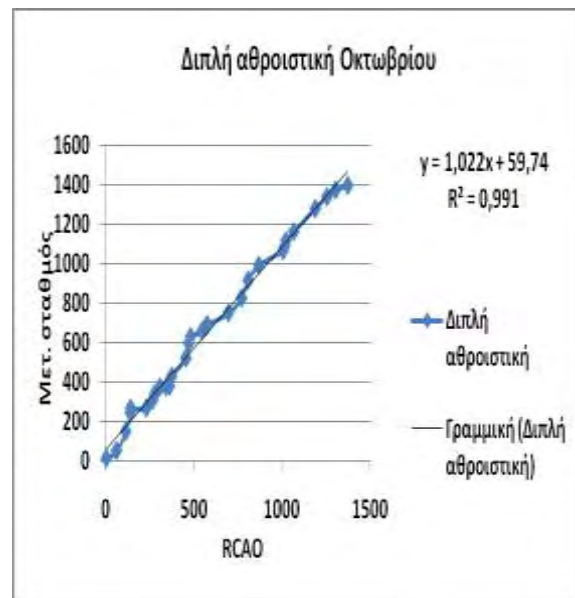
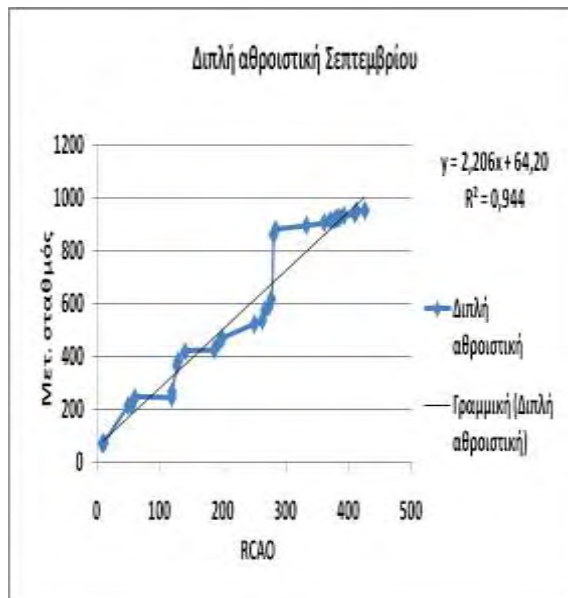
Πίνακας 8. Μέσοι όροι ανά μήνα την περίοδο 1960-1990

Μήνας	RCAO(mm)	Μετ. σταθμός(mm)
ΙΑΝ	50,0	31,73
ΦΕΒ	44,3	35,88
ΜΑΡ	36,5	37,76
ΑΠΡ	29,9	29,37
ΜΑΪ	18,1	38,19
ΙΟΥΝ	7,8	24,33
ΙΟΥΛ	2,0	18,60
ΑΥΓ	3,6	13,73
ΣΕΠ	14,2	31,69
ΟΚΤ	45,7	46,51
ΝΟΕ	67,4	56,31
ΔΕΚ	44,1	55,03

Στη συνέχεια έγινε προσπάθεια να βρεθεί μια συσχέτιση ανάμεσα στις τιμές της βροχόπτωσης της περιόδου 1960-1990 ανάμεσα στο RCAO και στις πραγματικές τιμές. Στόχος ήταν να βρεθεί μια γραμμική συνάρτηση διόρθωσης ώστε να καταστεί δυνατή η βελτίωση των τιμών του RCAO για την περίοδο 1960-1990 σε σχέση με τις πραγματικές και στη συνέχεια αυτή η διόρθωση να επεκταθεί και στις μελλοντικές τιμές της βροχόπτωσης του RCAO για την περίοδο 2070-2100. Για να πραγματοποιηθεί αυτό έγινε χρήση της διπλής αθροιστικής καμπύλης σε κάθε μήνα ξεχωριστά (Μιμίκου Μαρία, Τεχνολογία υδατικών πόρων, σελ 25). Υπολογίστηκε η αθροιστική των πραγματικών δεδομένων και των τιμών του RCAO ξεχωριστά και στη συνέχεια με τη κατασκευή του διαγράμματος, όπου στον άξονα χχ' είναι οι τιμές της αθροιστικής του RCAO και στον yy' οι αντίστοιχες τιμές του μετεωρολογικού σταθμού, βρέθηκε η μεταξύ τους γραμμική συσχέτιση μέσω της ευθείας ελαχίστων τετραγώνων καθώς και η τιμή R^2 που μας δείχνει το ποσοστό στο οποίο ανταποκρίνεται η ευθεία αυτή στην καμπύλη της διπλής αθροιστικής. Από την στατιστική επεξεργασία των δεδομένων προέκυψε ότι υπάρχει μια πολύ καλή συσχέτιση ανάμεσα στις τιμές του μοντέλου και του σταθμού για όλους τους μήνες εκτός από τον Ιούλιο. Οι τιμές του R^2 τον μήνα Ιούλιο είναι 70% ενώ για όλους τους υπόλοιπους σταθερά πάνω από 93%. Με βάση τις συναρτήσεις του κάθε μήνα ξεχωριστά υπάρχει η δυνατότητα να διορθωθούν οι μελλοντικές τιμές του RCAO και να ανταποκρίνονται καλύτερα στα δεδομένα της περιοχής της λίμνης. Τα διαγράμματα, η εξίσωση της ευθείας ελαχίστων τετραγώνων καθώς και η τιμή του R^2 δίνονται στα παρακάτω διαγράμματα.







Διαγράμματα 14-24. Μηνιαίες διπλές αθροιστικές των πραγματικών τιμών και των τιμών του RCAO, εξίσωση συσχέτισης και τιμή του R^2 .

Οι γραμμικές εξισώσεις για κάθε μήνα ξεχωριστά δίνονται στον Πίνακα 9 που ακολουθεί.

Πίνακας 9. Εξισώσεις διόρθωσης και R^2 των τιμών βροχόπτωσης του RCAO ανά μήνα

Μήνας	R^2	Εξίσωση
ΙΑΝ	0.982	$Y=0.647x-55.66$
ΦΕΒ	0.988	$Y=0.749x+30.75$
ΜΑΡ	0.976	$Y=0.89x+124$
ΑΠΡ	0.977	$Y=1.045x+1.056$
ΜΑΪ	0.985	$Y=2.286x-56.36$
ΙΟΥΝ	0.952	$Y=2.598x+74.59$
ΙΟΥΛ	0.695	$Y=8.186x+114.3$
ΑΥΓ	0.93	$Y=4.269x-22.63$
ΣΕΠ	0.944	$Y=2.206x+64.20$
ΟΚΤ	0.991	$Y=1.022x+59.74$
ΝΟΕ	0.947	$Y=0.799x-54.24$
ΔΕΚ	0.987	$Y=1.085x+112.8$

Στους παρακάτω πίνακες παρουσιάζονται οι διορθώσεις των τιμών βροχόπτωσης του RCAO κάνοντας χρήση των εξισώσεων για την περίοδο 1960-1990 και η διαφορά τους σε σχέση με τις μετρήσεις του μετεωρολογικού σταθμού.

Πίνακας 10. Διορθωμένες τιμές βροχόπτωσης Ιανουαρίου του RCAO της περιόδου 1960-1990 και η διαφορά τους σε σχέση με τις πραγματικές.

Διόρθωση τιμών Ιανουαρίου 1960-1990				διαφορά διορθ.τιμών με πραγματικές (mm)
Έτος	τιμές RCAO (mm)	διορθωμένες τιμές RCAO (mm)	πραγματικές τιμές (mm)	
1960	38,0	24,59	30,6	-6,01
1961	130,2	84,23	41,6	42,63
1962	27,4	17,70	17,6	0,10
1963	31,1	20,12	46,8	-26,68
1964	103,8	67,16	25,9	41,26
1965	49,3	31,92	36,9	-4,98
1966	118,2	76,48	38,3	38,18
1967	24,0	15,50	18,5	-3,00
1968	30,8	19,95	28,8	-8,85
1969	23,6	15,26	46,6	-31,34
1970	70,8	45,83	27	18,83
1971	58,4	37,80	14,9	22,90
1972	64,5	41,71	19,7	22,01
1973	35,8	23,15	79	-55,85
1974	53,1	34,34	30,71	3,63
1975	32,8	21,19	5,8	15,39
1976	65,3	42,25	22,1	20,15
1977	57,7	37,36	11,5	25,86
1978	49,9	32,27	66	-33,73
1979	14,2	9,16	49,6	-40,44
1980	41,1	26,56	61,8	-35,24
1981	55,5	35,89	75,7	-39,81
1982	57,2	37,01	9	28,01
1983	33,9	21,95	5,8	16,15
1984	44,4	28,76	26,6	2,16
1985	49,3	31,88	30,2	1,68
1986	21,1	13,65	17,4	-3,75
1987	14,4	9,31	28	-18,69
1988	14,7	9,51	37,8	-28,29
1989	90,0	58,22	1,8	56,42

Πίνακας 11. Διορθωμένες τιμές βροχόπτωσης Φεβρουαρίου του RCAO της περιόδου 1960-1990 και η διαφορά τους σε σχέση με τις πραγματικές.

Έτος	Διόρθωση τιμών Φεβρουαρίου 1960-1990			διαφορά διορθ.τιμών με πραγματικές (mm)
	τιμές RCAO (mm)	διορθωμένες τιμές RCAO (mm)	πραγματικές τιμές(mm)	
1960	6,1	4,57	35,3	-30,73
1961	6,1	4,61	12,2	-7,59
1962	44,5	33,36	40,8	-7,44
1963	11,8	8,82	51,2	-42,38
1964	38,6	28,92	12,6	16,32
1965	23,6	17,68	41	-23,32
1966	65,6	49,11	8,5	40,61
1967	59,2	44,35	11,5	32,85
1968	91,0	68,17	24,1	44,07
1969	17,0	12,76	33,7	-20,94
1970	118,2	88,54	51,2	37,34
1971	15,4	11,56	60,5	-48,94
1972	110,2	82,57	72	10,57
1973	14,4	10,75	36,7	-25,95
1974	32,2	24,14	0	24,14
1975	28,8	21,55	35,5	-13,95
1976	96,3	72,14	58,3	13,84
1977	43,5	32,60	47,4	-14,80
1978	27,8	20,78	26,7	-5,92
1979	8,2	6,12	44,8	-38,68
1980	45,3	33,94	11,5	22,44
1981	114,3	85,61	30,1	55,51
1982	126,3	94,59	121,9	-27,31
1983	36,0	26,95	29,8	-2,85
1984	24,2	18,13	26,7	-8,57
1985	31,2	23,39	9,9	13,49
1986	13,6	10,15	68,5	-58,35
1987	41,4	31,00	42,5	-11,50
1988	17,4	13,04	26,2	-13,16
1989	20,4	15,28	5,4	9,88

Πίνακας 12. Διορθωμένες τιμές βροχόπτωσης Μαρτίου του RCAO της περιόδου 1960-1990 και η διαφορά τους σε σχέση με τις πραγματικές.

Έτος	Διόρθωση τιμών Μαρτίου 1960-1990			διαφορά διορθ.τιμών με πραγματικές (mm)
	τιμές RCAO(mm)	διορθωμένες τιμές RCAO (mm)	πραγματικές τιμές (mm)	
1960	2,3	2,0	54,3	-52,26
1961	6,4	5,7	62,9	-57,24
1962	4,0	3,6	34,2	-30,63
1963	24,6	21,9	41,4	-19,46
1964	65,1	57,9	74	-16,07
1965	69,2	61,6	29,3	32,28
1966	8,1	7,2	12,9	-5,72
1967	50,9	45,3	12	33,31
1968	5,2	4,6	14,8	-10,21
1969	45,3	40,3	66,4	-26,06
1970	60,4	53,8	21,1	32,70
1971	7,1	6,3	57	-50,71
1972	91,6	81,5	48,4	33,13
1973	40,8	36,4	54,8	-18,45
1974	47,0	41,8	0	41,84
1975	39,0	34,8	23,2	11,55
1976	100,2	89,1	30,8	58,34
1977	27,7	24,7	24,8	-0,13
1978	14,0	12,5	48,2	-35,73
1979	19,1	17,0	16,1	0,87
1980	15,1	13,4	46,9	-33,47
1981	38,3	34,1	8,9	25,18
1982	43,4	38,6	36	2,60
1983	15,9	14,1	9,9	4,21
1984	31,1	27,6	42,8	-15,16
1985	13,6	12,1	54,8	-42,65
1986	21,1	18,8	29,7	-10,91
1987	25,3	22,5	116,4	-93,87
1988	55,9	49,8	25,9	23,86
1989	108,4	96,5	34,9	61,60

Πίνακας 13. Διορθωμένες τιμές βροχόπτωσης Απριλίου του RCAO της περιόδου 1960-1990 και η διαφορά τους σε σχέση με τις πραγματικές.

Έτος	Διόρθωση τιμών Απριλίου 1960-1990			διαφορά διορθ.τιμών με πραγματικές (mm)
	τιμές RCAO(mm)	διορθωμένες τιμές RCAO (mm)	πραγματικές τιμές (mm)	
1960	1,757814	1,8	31	-29,16
1961	16,96875	17,7	16,3	1,43
1962	29,69532	31,0	12,3	18,73
1963	12,02343	12,6	23,7	-11,14
1964	14,03907	14,7	9,6	5,07
1965	29,96094	31,3	26,5	4,81
1966	24,21876	25,3	12,4	12,91
1967	14,625	15,3	42,7	-27,42
1968	26,02344	27,2	14,7	12,49
1969	45,9531	48,0	2	46,02
1970	3,85938	4,0	2,4	1,63
1971	11,58594	12,1	15,3	-3,19
1972	33,9453	35,5	75,8	-40,33
1973	26,68749	27,9	12,1	15,79
1974	13,59375	14,2	0	14,21
1975	45,7578	47,8	22,1	25,72
1976	33,2577	34,8	57,9	-23,15
1977	30,8517	32,2	17,2	15,04
1978	14,76564	15,4	49,9	-34,47
1979	80,8359	84,5	37,5	46,97
1980	36,0936	37,7	29,1	8,62
1981	4,72656	4,9	26,8	-21,86
1982	22,56249	23,6	122,8	-99,22
1983	19,71876	20,6	11,8	8,81
1984	20,68749	21,6	74,9	-53,28
1985	38,9766	40,7	13,6	27,13
1986	32,0469	33,5	4,8	28,69
1987	131,0391	136,9	74,7	62,24
1988	9,42969	9,9	30,4	-20,55
1989	70,0626	73,2	11	62,22

Πίνακας 14. Διορθωμένες τιμές βροχόπτωσης Μαΐου του RCAO της περιόδου 1960-1990 και η διαφορά τους σε σχέση με τις πραγματικές.

Έτος	Διόρθωση τιμών Μαΐου 1960-1990			διαφορά διορθ.τιμών με πραγματικές (mm)
	τιμές RAO(mm)	διορθωμένες τιμές RAO (mm)	πραγματικές τιμές (mm)	
1960	39,453	90,2	85,7	4,49
1961	6,69531	15,3	36,2	-20,89
1962	29,16405	66,7	27	39,67
1963	45,4608	103,9	44,2	59,72
1964	27,57813	63,0	58,6	4,44
1965	16,99218	38,8	17,2	21,64
1966	2,164062	4,9	8,4	-3,45
1967	3,47655	7,9	67,4	-59,45
1968	15,25782	34,9	89,6	-54,72
1969	25,54686	58,4	0,6	57,80
1970	47,961	109,6	28,6	81,04
1971	5,48436	12,5	42	-29,46
1972	0,742188	1,7	46,8	-45,10
1973	1,546875	3,5	4,2	-0,66
1974	24,57813	56,2	23,5	32,69
1975	15,85155	36,2	26,7	9,54
1976	25,90626	59,2	84,7	-25,48
1977	6,78126	15,5	23,4	-7,90
1978	14,23437	32,5	31,8	0,74
1979	16,19532	37,0	55,8	-18,78
1980	33,7188	77,1	44,5	32,58
1981	36,8751	84,3	30,6	53,70
1982	2,609376	6,0	128,8	-122,83
1983	9,68751	22,1	22,1	0,05
1984	4,44531	10,2	13,1	-2,94
1985	4,67187	10,7	11,4	-0,72
1986	21,92187	50,1	23,2	26,91
1987	12,41406	28,4	33,4	-5,02
1988	7,10937	16,3	6,9	9,35
1989	38,1405	87,2	29,4	57,79

Πίνακας 15. Διορθωμένες τιμές βροχόπτωσης Ιουνίου του RCAO της περιόδου 1960-1990 και η διαφορά τους σε σχέση με τις πραγματικές.

Έτος	Διόρθωση τιμών Ιουνίου 1960-1990			διαφορά διορθ.τιμών με πραγματικές (mm)
	τιμές RCAO(mm)	διορθωμένες τιμές RCAO (mm)	πραγματικές τιμές (mm)	
1960	1,085937	2,8	31,9	-29,08
1961	5,87499	15,3	19,8	-4,54
1962	14,45313	37,5	1,2	36,35
1963	3,53907	9,2	25,4	-16,21
1964	13,62501	35,4	62	-26,60
1965	0,2656251	0,7	50,2	-49,51
1966	5,88282	15,3	45,3	-30,02
1967	1,046874	2,7	3	-0,28
1968	9,35157	24,3	10	14,30
1969	2,546874	6,6	4	2,62
1970	1,867188	4,9	27,6	-22,75
1971	4,8828	12,7	18,8	-6,11
1972	13,83594	35,9	20,5	15,45
1973	3,96093	10,3	2,2	8,09
1974	6,27345	16,3	50,1	-33,80
1975	92,9376	241,5	106	135,45
1976	1,156251	3,0	7,3	-4,30
1977	3,12501	8,1	15,6	-7,48
1978	0,2499999	0,6	8,2	-7,55
1979	0,09375	0,2	2,8	-2,56
1980	0,624999	1,6	17,2	-15,58
1981	9,28125	24,1	9,5	14,61
1982	3,11718	8,1	26,4	-18,30
1983	8,04687	20,9	51,5	-30,59
1984	0,2499999	0,6	17,8	-17,15
1985	0,382812	1,0	9,6	-8,61
1986	2,937501	7,6	40,2	-32,57
1987	9,7578	25,4	1,9	23,45
1988	9,24999	24,0	9	15,03
1989	2,820312	7,3	35	-27,67

Πίνακας 16. Διορθωμένες τιμές βροχόπτωσης Ιουλίου του RAO της περιόδου 1960-1990 και η διαφορά τους σε σχέση με τις πραγματικές.

Έτος	Διόρθωση τιμών Ιουλίου 1960-1990			διαφορά διορθ.τιμών με πραγματικές (mm)
	τιμές RAO (mm)	διορθωμένες τιμές RAO (mm)	πραγματικές τιμές (mm)	
1960	4,04688	33,1	0,3	32,83
1961	1,015626	8,3	16	-7,69
1962	0,343749	2,8	13,6	-10,79
1963	1,421874	11,6	11,7	-0,06
1964	0,687501	5,6	16,1	-10,47
1965	1,171875	9,6	38,5	-28,91
1966	0,359376	2,9	3	-0,06
1967	0	0,0	38,5	-38,50
1968	0	0,0	1	-1,00
1969	0,1718751	1,4	0	1,41
1970	1,148439	9,4	7	2,40
1971	1,703124	13,9	59,1	-45,16
1972	0,2968749	2,4	131,8	-129,37
1973	0,0312501	0,3	22,8	-22,54
1974	0	0,0	2	-2,00
1975	3,64845	29,9	0,3	29,57
1976	0	0,0	38,3	-38,30
1977	0,687501	5,6	9,6	-3,97
1978	0	0,0	0	0,00
1979	0,0624999	0,5	2,3	-1,79
1980	9,64062	78,9	0	78,92
1981	8,58594	70,3	8,6	61,68
1982	4,76562	39,0	13,6	25,41
1983	0,01562499	0,1	77,1	-76,97
1984	12,14061	99,4	2,2	97,18
1985	0,593751	4,9	2,8	2,06
1986	0	0,0	7,2	-7,20
1987	6,78906	55,6	2,4	53,18
1988	0,2187501	1,8	0,9	0,89
1989	0,0312501	0,3	31,5	-31,24

Πίνακας 17. Διορθωμένες τιμές βροχόπτωσης Αυγούστου του RCAO της περιόδου 1960-1990 και η διαφορά τους σε σχέση με τις πραγματικές.

Έτος	Διόρθωση τιμών Αυγούστου 1960-1990			διαφορά διορθ.τιμών με πραγματικές (mm)
	τιμές RCAO (mm)	διορθωμένες τιμές RCAO (mm)	πραγματικές τιμές (mm)	
1960	0	0,0	12,5	-12,50
1961	2,25	9,6	6,9	2,71
1962	2,171874	9,3	0	9,27
1963	0,0624999	0,3	17,7	-17,43
1964	11,14062	47,6	0	47,56
1965	7,22655	30,9	0	30,85
1966	6,07032	25,9	7,5	18,41
1967	0,609375	2,6	19,5	-16,90
1968	0,00781251	0,0	5,5	-5,47
1969	0,1250001	0,5	0	0,53
1970	0,484374	2,1	0,2	1,87
1971	1,40625	6,0	13,9	-7,90
1972	1,671876	7,1	21,1	-13,96
1973	2,796876	11,9	7,8	4,14
1974	4,23438	18,1	0,8	17,28
1975	2,976561	12,7	55,1	-42,39
1976	2,085936	8,9	46,3	-37,40
1977	1,906251	8,1	3,4	4,74
1978	7,03905	30,0	0,6	29,45
1979	0,437499	1,9	7,4	-5,53
1980	8,78907	37,5	9,1	28,42
1981	3	12,8	18,9	-6,09
1982	3,28905	14,0	40,9	-26,86
1983	0,921876	3,9	11,4	-7,46
1984	0	0,0	53,8	-53,80
1985	2,656251	11,3	0	11,34
1986	24,14844	103,1	10,2	92,89
1987	0	0,0	10	-10,00
1988	0,578124	2,5	1,6	0,87
1989	11,10939	47,4	29,9	17,53

Πίνακας 18. Διορθωμένες τιμές βροχόπτωσης Σεπτεμβρίου του RCAO της περιόδου 1960-1990 και η διαφορά τους σε σχέση με τις πραγματικές.

Έτος	Διόρθωση τιμών Σεπτεμβρίου 1960-1990			διαφορά διορθ.τιμών με πραγματικές (mm)
	τιμές RCAO (mm)	διορθωμένες τιμές RCAO (mm)	πραγματικές τιμές (mm)	
1960	8,20314	18,0	74,9	-56,85
1961	2,804688	6,2	2,2	3,99
1962	38,7657	85,5	139,6	-54,08
1963	5,69532	12,6	4,5	8,06
1964	4,66407	10,3	26	-15,71
1965	58,7499	129,6	0	129,60
1966	0,351564	0,8	20,3	-19,52
1967	7,79688	17,2	101	-83,80
1968	2,265624	5,0	17	-12,00
1969	10,74999	23,7	35,1	-11,39
1970	46,6095	102,8	5,9	96,92
1971	7,92186	17,5	30,9	-13,42
1972	4,5	9,9	12,9	-2,97
1973	51,4296	113,5	53,7	59,75
1974	12,53124	27,6	13	14,64
1975	3,96876	8,8	37,6	-28,84
1976	6,75	14,9	15,8	-0,91
1977	3,75	8,3	28,4	-20,13
1978	3,34374	7,4	240,5	-233,12
1979	3,33594	7,4	19,9	-12,54
1980	49,125	108,4	15,4	92,97
1981	28,14063	62,1	10,4	51,68
1982	9,79686	21,6	7,3	14,31
1983	6,43749	14,2	3,2	11,00
1984	4,82031	10,6	6	4,63
1985	3,77343	8,3	2,2	6,12
1986	7,16406	15,8	8	7,80
1987	17,0547	37,6	7	30,62
1988	2,671875	5,9	9,8	-3,91
1989	13,35936	29,5	2,3	27,17

Πίνακας 19. Διορθωμένες τιμές βροχόπτωσης Οκτωβρίου του RCAO της περιόδου 1960-1990 και η διαφορά τους σε σχέση με τις πραγματικές.

Έτος	Διόρθωση τιμών Οκτωβρίου 1960-1990			διαφορά διορθ.τιμών με πραγματικές (mm)
	τιμές RCAO (mm)	διορθωμένες τιμές RCAO (mm)	πραγματικές τιμές (mm)	
1960	3,27345	3,3	13,9	-10,55
1961	57,297	58,6	37,9	20,66
1962	52,4142	53,6	98,1	-44,53
1963	26,60157	27,2	94,1	-66,91
1964	2,15625	2,2	23	-20,80
1965	88,0626	90,0	0,5	89,50
1966	36,3126	37,1	40,6	-3,49
1967	12,29688	12,6	31	-18,43
1968	29,11719	29,8	36	-6,24
1969	35,3517	36,1	0	36,13
1970	18,32811	18,7	4,2	14,53
1971	12,50781	12,8	49,3	-36,52
1972	81,2577	83,0	92,8	-9,75
1973	16,1172	16,5	74,4	-57,93
1974	9,39063	9,6	34,3	-24,70
1975	65,4609	66,9	27,6	39,30
1976	22,22655	22,7	23,4	-0,68
1977	7,18749	7,3	9,2	-1,85
1978	120,2655	122,9	60,3	62,61
1979	74,4609	76,1	74,5	1,60
1980	36,7266	37,5	90,4	-52,87
1981	61,1874	62,5	75	-12,47
1982	137,3829	140,4	74,8	65,61
1983	8,66406	8,9	21,2	-12,35
1984	6,99219	7,1	26,9	-19,75
1985	44,2344	45,2	47,8	-2,59
1986	122,8593	125,6	116,8	8,76
1987	66,1641	67,6	60,9	6,72
1988	49,0392	50,1	34,2	15,92
1989	68,3907	69,9	22,4	47,50

Πίνακας 20. Διορθωμένες τιμές βροχόπτωσης Νοεμβρίου του RCAO της περιόδου 1960-1990 και η διαφορά τους σε σχέση με τις πραγματικές.

Έτος	Διόρθωση τιμών Νοεμβρίου 1960-1990			διαφορά διορθ.τιμών με πραγματικές (mm)
	τιμές RCAO (mm)	διορθωμένες τιμές RCAO (mm)	πραγματικές τιμές (mm)	
1960	47,328	37,9	14,1	23,76
1961	26,50782	21,2	46,8	-25,59
1962	54,8517	43,9	103,8	-59,92
1963	68,3124	54,6	49,6	5,05
1964	13,15626	10,5	29,4	-18,87
1965	97,6641	78,1	37,1	41,03
1966	93,1953	74,6	103,5	-28,94
1967	186,7812	149,4	24	125,42
1968	95,9064	76,7	40,5	36,23
1969	57,4218	45,9	23,7	22,24
1970	40,2891	32,2	2,2	30,03
1971	36,5781	29,3	10,6	18,66
1972	118,2579	94,6	3,5	91,11
1973	37,953	30,4	42,2	-11,84
1974	31,125	24,9	64	-39,10
1975	39,3048	31,4	53,6	-22,16
1976	15,63282	12,5	73,7	-61,19
1977	57,1563	45,7	26,4	19,33
1978	142,4688	114,0	26,1	87,88
1979	75,3672	60,3	154,1	-93,81
1980	133,6719	106,9	56,6	50,34
1981	27,06249	21,6	57,7	-36,05
1982	70,0311	56,0	92,2	-36,18
1983	44,3358	35,5	40,5	-5,03
1984	15,375	12,3	54,7	-42,40
1985	87,9141	70,3	154	-83,67
1986	70,3593	56,3	62,8	-6,51
1987	79,203	63,4	76,2	-12,84
1988	45,3906	36,3	122,6	-86,29
1989	114,7578	91,8	43,1	48,71

Πίνακας 21. Διορθωμένες τιμές βροχόπτωσης Δεκεμβρίου του RCAO της περιόδου 1960-1990 και η διαφορά τους σε σχέση με τις πραγματικές.

Έτος	Διόρθωση τιμών Δεκεμβρίου 1960-1990			διαφορά διορθ.τιμών με πραγματικές (mm)
	τιμές RCAO (mm)	διορθωμένες τιμές RCAO (mm)	πραγματικές τιμές (mm)	
1960	35,4297	39,0	156	-117,03
1961	26,39061	28,6	55,5	-26,87
1962	117,1329	127,1	101,3	25,79
1963	69,5859	75,5	70,9	4,60
1964	31,3827	34,1	59,7	-25,65
1965	121,9374	132,3	22	110,30
1966	26,67969	28,9	71	-42,05
1967	42,1329	45,7	38,2	7,51
1968	34,3359	37,3	68,9	-31,65
1969	21,46875	23,3	106,6	-83,31
1970	45,672	49,6	33,9	15,65
1971	34,3125	37,2	35,5	1,73
1972	24,54687	26,6	5,3	21,33
1973	22,03125	23,9	53,6	-29,70
1974	100,836	109,4	51,3	58,11
1975	29,42187	31,9	48,2	-16,28
1976	73,7187	80,0	11,7	68,28
1977	28,06251	30,4	30,6	-0,15
1978	16,75782	18,2	55,4	-37,22
1979	60,7734	65,9	43	22,94
1980	52,5858	57,1	43,1	13,96
1981	43,7892	47,5	39,6	7,91
1982	19,37499	21,0	30,6	-9,58
1983	49,3671	53,6	156,5	-102,94
1984	54,039	58,6	30,7	27,93
1985	23,16405	25,1	14,9	10,23
1986	50,9376	55,3	8,2	47,07
1987	29,68749	32,2	35,8	-3,59
1988	7,92969	8,6	96,9	-88,30
1989	28,74999	31,2	76,1	-44,91

7.3 Διόρθωση των μελλοντικών τιμών βροχόπτωσης του RCAO στην περιοχή της λίμνης Κάρλα.

Στην προηγούμενη ενότητα μέσω στατιστικών διεργασιών έγινε δυνατό να παραχθούν εξισώσεις διόρθωσης των τιμών του μοντέλου ανά μήνα. Τώρα με τη χρήση αυτών των εξισώσεων, έχοντας τα δεδομένα της βροχόπτωσης της περιόδου 2070-2100 του μοντέλου, θα βρεθούν οι διορθωμένες τιμές της περιοχής. Οι τιμές της βροχόπτωσης που προβλέπει για την αναφερθείσα περίοδο το RCAO δίνονται στο παράρτημα Πίνακας 4. Στη θέση της μεταβλητής x των εξισώσεων, όπως είπαμε προηγουμένως, θα τοποθετηθούν οι μελλοντικές τιμές της αθροιστικής του RCAO τον συγκεκριμένο μήνα και μέσω της σχέσης θα μας δοθεί η νέα τιμή της αθροιστικής. Στη συνέχεια με αφαίρεση των διαδοχικών τιμών της αθροιστικής θα αποκτήσουμε τις μεταβολές της, οι οποίες αντιστοιχούν στις διορθωμένες τιμές της βροχόπτωσης του κάθε μήνα ξεχωριστά για τα έτη 2070-2100. Η πρώτη τιμή του κάθε μήνα, δηλαδή οι μηνιαίες τιμές του έτους 2070, εξαιτίας του γεγονότος ότι δε μπορούμε να έχουμε την μεταβολή σε σχέση με την προηγούμενη τιμή της αθροιστικής, επιλέχθηκε να είναι ίση με μια σχέση της μορφής $y=ax$ όπου a ο συντελεστής της εξίσωσης διόρθωσης του μήνα και x η αντίστοιχη τιμή του μοντέλου. Παρακάτω δίνονται οι πίνακες υπολογισμού.

Πίνακας 22. Υπολογισμός νέων τιμών της βροχόπτωσης του μοντέλου RCAO του μήνα Ιανουαρίου

Διόρθωση τιμών Ιανουαρίου 2070-2100					
Ιανουάριος	τιμές RCAO	Αθροιστική(χ)	Διόρθωση(γ)	Διορθωμένες τιμές Ιανουαρίου ($y_{i+1} - y_i$)	
2070	6,461877792	6,46	-51,48	4,18	
2071	13,62659537	20,09	-42,66	8,82	
2072	11,35634074	31,44	-35,32	7,35	
2073	9,28832316	40,73	-29,31	6,01	min
2074	19,38060463	60,11	-16,77	12,54	3,62
2075	11,98332221	72,10	-9,01	7,75	max
2076	22,80875184	94,91	5,74	14,76	98,74
2077	11,45745926	106,36	13,16	7,41	ave
2078	13,95020184	120,31	22,18	9,03	15,79
2079	17,03955926	137,35	33,21	11,02	
2080	16,68057684	154,03	44,00	10,79	
2081	33,87179448	187,91	65,91	21,92	
2082	152,6078184	340,51	164,65	98,74	
2083	10,76982221	351,28	171,62	6,97	
2084	5,592215736	356,88	175,24	3,62	
2085	17,73733147	374,61	186,71	11,48	
2086	10,21363147	384,83	193,32	6,61	
2087	12,60016853	397,43	201,47	8,15	
2088	8,691688896	406,12	207,10	5,62	
2089	37,95226104	444,07	231,65	24,56	
2090	15,593475	459,66	241,74	10,09	
2091	11,53836574	471,20	249,21	7,47	
2092	7,902913896	479,11	254,32	5,11	
2093	16,05359537	495,16	264,71	10,39	
2094	58,99124448	554,15	302,88	38,17	
2095	50,74449264	604,89	335,71	32,83	
2096	49,13160552	654,03	367,49	31,79	
2097	19,57268712	673,60	380,16	12,66	
2098	40,7231184	714,32	406,51	26,35	
2099	17,7322639	732,05	417,98	11,47	

Πίνακας 23. Υπολογισμός νέων τιμών της βροχόπτωσης του μοντέλου RAO του μήνα Φεβρουαρίου

Διόρθωση τιμών Φεβρουαρίου 2070-2100					
Φεβρουάριος	τιμέςRCAO	Αθροιστική(χ)	Διόρθωση(γ)	Διορθωμένες τιμές Φεβρουαρίου (y _{i+1} –y _i)	
2070	12,85155	12,85155	40,375811	9,62581095	
2071	36,4845	49,33605	67,7027015	27,3268905	
2072	15,59376	64,92981	79,3824277	11,67972624	
2073	3,84375	68,77356	82,2613964	2,87896875	
2074	56,5704	125,34396	124,632626	42,3712296	
2075	28,93749	154,28145	146,306806	21,67418001	min
2076	10,77345	165,0549	154,37612	8,06931405	2,878969
2077	18,95313	184,00803	168,572014	14,19589437	max
2078	58,3125	242,32053	212,248077	43,6760625	98,09548
2079	44,0625	286,38303	245,250889	33,0028125	ave
2080	26,48436	312,86739	265,087675	19,83678564	26,17807
2081	52,0938	364,96119	304,105931	39,0182562	
2082	130,9686	495,92979	402,201413	98,0954814	
2083	17,73438	513,66417	415,484463	13,28305062	
2084	17,0625	530,72667	428,264276	12,7798125	
2085	66,0936	596,82027	477,768382	49,5041064	
2086	22,98438	619,80465	494,983683	17,21530062	
2087	42,2343	662,03895	526,617174	31,6334907	
2088	13,98438	676,02333	537,091474	10,47430062	
2089	77,2032	753,22653	594,916671	57,8251968	
2090	11,625	764,85153	603,623796	8,707125	
2091	13,90626	778,75779	614,039585	10,41578874	
2092	35,6016	814,35939	640,705183	26,6655984	
2093	10,52343	824,88282	648,587232	7,88204907	
2094	17,78124	842,66406	661,905381	13,31814876	
2095	23,18751	865,85157	679,272826	17,36744499	
2096	17,12499	882,97656	692,099443	12,82661751	
2097	71,8281	954,80466	745,89869	53,7992469	
2098	40,6719	995,47656	776,361943	30,4632531	
2099	30,9453	1026,42186	799,539973	23,1780297	

Πίνακας 24. Υπολογισμός νέων τιμών της βροχόπτωσης του μοντέλου RCAO του μήνα Μαρτίου

Διόρθωση τιμών Μαρτίου 2070-2100					
Μάρτιος	Τιμές RCAO	Αθροιστική(x)	Διόρθωση(y)	Διορθωμένες τιμές Μαρτίου ($y_{i+1} - y_i$)	
2070	118,6875	118,6875	229,631875	105,631875	min
2071	16,71093	135,39843	244,504603	14,8727277	0,166875
2072	26,625	162,02343	268,200853	23,69625	max
2073	27,78906	189,81249	292,933116	24,7322634	105,6319
2074	69,9531	259,76559	355,191375	62,258259	ave
2075	14,26563	274,03122	367,887786	12,6964107	33,1029
2076	25,66407	299,69529	390,728808	22,8410223	
2077	65,7501	365,44539	449,246397	58,517589	
2078	57,2265	422,67189	500,177982	50,931585	
2079	24,07812	446,75001	521,607509	21,4295268	
2080	0,1875	446,93751	521,774384	0,166875	
2081	13,26561	460,20312	533,580777	11,8063929	
2082	49,0077	509,21082	577,19763	43,616853	
2083	10,25781	519,46863	586,327081	9,1294509	
2084	6,03906	525,50769	591,701844	5,3747634	
2085	113,1798	638,68749	692,431866	100,730022	
2086	29,86719	668,55468	719,013665	26,5817991	
2087	20,33595	688,89063	737,112661	18,0989955	
2088	43,0626	731,95323	775,438375	38,325714	
2089	40,3047	772,25793	811,309558	35,871183	
2090	69,828	842,08593	873,456478	62,14692	
2091	18,85155	860,93748	890,234357	16,7778795	
2092	42,5313	903,46878	928,087214	37,852857	
2093	50,0235	953,49228	972,608129	44,520915	
2094	23,4375	976,92978	993,467504	20,859375	
2095	63,1563	1040,08608	1049,67661	56,209107	
2096	17,08593	1057,17201	1064,88309	15,2064777	
2097	4,03125	1061,20326	1068,4709	3,5878125	
2098	3,90624	1065,1095	1071,94746	3,4765536	
2099	50,7186	1115,8281	1117,08701	45,139554	

Πίνακας 25. Υπολογισμός νέων τιμών της βροχόπτωσης του μοντέλου RAO του μήνα Απριλίου

Διόρθωση τιμών Απριλίου 2070-2100				
Απρίλιος	Τιμές RAO	Αθροιστική(x)	Διόρθωση(γ)	Διορθωμένες τιμές Απριλίου ($\gamma_{i+1} - \gamma_i$)
2070	16,70	16,70	18,51	17,45
2071	6,90	23,60	25,72	7,21
2072	19,56	43,16	46,16	20,44
2073	24,37	67,53	71,63	25,46
2074	3,03	70,56	74,79	3,17
2075	58,90	129,46	136,34	61,55
2076	16,03	145,49	153,10	16,75
2077	69,60	215,09	225,83	72,73
2078	30,84	245,93	258,05	32,22
2079	8,81	254,74	267,26	9,21
2080	9,88	264,62	277,59	10,33
2081	5,14	269,77	282,96	5,37
2082	56,17	325,94	341,66	58,70
2083	1,78	327,72	343,52	1,86
2084	42,98	370,70	388,43	44,91
2085	9,97	380,66	398,85	10,42
2086	32,63	413,29	432,94	34,09
2087	59,00	472,29	494,60	61,66
2088	27,48	499,77	523,31	28,71
2089	2,07	501,84	525,47	2,16
2090	1,86	503,70	527,42	1,94
2091	27,17	530,87	555,81	28,39
2092	25,76	556,62	582,73	26,92
2093	15,52	572,15	598,95	16,22
2094	25,53	597,68	625,63	26,68
2095	35,53	633,21	662,76	37,13
2096	21,62	654,84	685,36	22,60
2097	7,07	661,91	692,75	7,39
2098	6,84	668,74	699,89	7,14
2099	8,34	677,09	708,61	8,72

min
1,861406
max
72,73357
ave
23,58516

Πίνακας 26. Υπολογισμός νέων τιμών της βροχόπτωσης του μοντέλου RCAO του μήνα Μαΐου

Διόρθωση τιμών Μαΐου 2070-2100					
Μάιος	Τιμές RCAO	Αθροιστική(χ)	Διόρθωση(γ)	Διορθωμένες τιμές Μαΐου ($y_{i+1} - y_i$)	
2070	15,44	15,44	-21,07	0,00	
2071	0,92	16,36	-18,96	2,11	
2072	43,31	59,67	80,05	98,00	
2073	3,23	62,91	87,44	7,39	min
2074	14,59	77,49	120,79	33,34	0
2075	63,39	140,88	265,70	144,91	max
2076	50,69	191,57	381,57	115,87	248,1382
2077	108,55	300,12	629,71	248,14	ave
2078	21,22	321,34	678,21	48,51	54,11765
2079	41,48	362,82	773,05	94,83	
2080	17,22	380,04	812,41	39,36	
2081	75,68	455,72	985,41	173,00	
2082	2,89	458,61	992,02	6,61	
2083	35,23	493,84	1072,57	80,55	
2084	1,39	495,23	1075,75	3,18	
2085	3,20	498,43	1083,05	7,30	
2086	9,68	508,11	1105,18	22,13	
2087	6,49	514,60	1120,02	14,84	
2088	32,16	546,76	1193,53	73,51	
2089	14,02	560,78	1225,59	32,06	
2090	4,02	564,80	1234,78	9,20	
2091	3,93	568,73	1243,77	8,98	
2092	33,15	601,88	1319,54	75,78	
2093	3,22	605,10	1326,90	7,36	
2094	32,52	637,62	1401,25	74,35	
2095	62,77	700,40	1544,75	143,50	
2096	7,31	707,71	1561,47	16,72	
2097	14,03	721,74	1593,54	32,08	
2098	4,40	726,14	1603,60	10,05	
2099	0,87	727,01	1605,58	1,98	

Πίνακας 27. Υπολογισμός νέων τιμών της βροχόπτωσης του μοντέλου RCAO του μήνα Ιουνίου

Διόρθωση τιμών Ιουνίου 2070-2100				
Ιούνιος	Τιμές RCAO	Αθροιστική(x)	Διόρθωση(γ)	Διορθωμένες τιμές Ιουνίου ($y_{i+1} - y_i$)
2070	18,12	18,12	121,66	47,07
2071	0,05	18,16	121,78	0,12
2072	0,88	19,05	124,07	2,29
2073	6,52	25,57	141,02	16,95
2074	15,55	41,12	181,41	40,39
2075	2,28	43,40	187,34	5,93
2076	0,00	43,40	187,34	0,00
2077	9,75	53,15	212,67	25,33
2078	1,52	54,66	216,61	3,94
2079	1,03	55,70	219,29	2,68
2080	3,23	58,93	227,69	8,40
2081	16,53	75,46	270,64	42,95
2082	0,00	75,46	270,64	0,00
2083	5,08	80,54	283,83	13,19
2084	2,56	83,10	290,49	6,66
2085	0,42	83,52	291,58	1,10
2086	2,19	85,71	297,27	5,68
2087	0,03	85,74	297,35	0,08
2088	12,72	98,46	330,39	33,04
2089	7,73	106,20	350,49	20,09
2090	0,03	106,23	350,57	0,08
2091	7,63	113,86	370,40	19,83
2092	4,69	118,55	382,57	12,18
2093	0,71	119,26	384,42	1,85
2094	2,16	121,41	390,02	5,60
2095	0,00	121,41	390,02	0,00
2096	3,20	124,61	398,33	8,30
2097	1,09	125,70	401,17	2,84
2098	0,23	125,94	401,78	0,61
2099	0,00	125,94	401,78	0,00

min
0
max
47,06843
ave
10,90619

Πίνακας 28. Υπολογισμός νέων τιμών της βροχόπτωσης του μοντέλου RCAO του μήνα Ιουλίου

Διόρθωση τιμών Ιουλίου 2070-2100				
Ιούλιος	Τιμές RCAO	Αθροιστική(x)	Διόρθωση(γ)	Διορθωμένες τιμές Ιουλίου ($y_{i+1} - y_i$)
2070	1,41	1,41	125,81	11,50
2071	0,00	1,41	125,81	0,00
2072	0,00	1,41	125,81	0,00
2073	0,19	1,59	127,35	1,53
2074	0,02	1,61	127,47	0,13
2075	0,86	2,47	134,51	7,03
2076	0,00	2,47	134,51	0,00
2077	0,75	3,22	140,65	6,14
2078	0,05	3,27	141,10	0,45
2079	0,02	3,29	141,22	0,13
2080	0,00	3,29	141,22	0,00
2081	0,00	3,29	141,22	0,00
2082	0,53	3,82	145,57	4,35
2083	0,14	3,96	146,72	1,15
2084	0,34	4,30	149,54	2,81
2085	0,00	4,30	149,54	0,00
2086	0,00	4,30	149,54	0,00
2087	0,00	4,30	149,54	0,00
2088	0,00	4,30	149,54	0,00
2089	0,00	4,30	149,54	0,00
2090	0,00	4,30	149,54	0,00
2091	0,13	4,43	150,56	1,02
2092	0,00	4,43	150,56	0,00
2093	0,00	4,43	150,56	0,00
2094	0,00	4,43	150,56	0,00
2095	0,00	4,43	150,56	0,00
2096	0,00	4,43	150,56	0,00
2097	0,00	4,43	150,56	0,00
2098	0,00	4,43	150,56	0,00
2099	0,00	4,43	150,56	0,00

min
0
max
11,50313
ave
1,208432

Πίνακας 29. Υπολογισμός νέων τιμών της βροχόπτωσης του μοντέλου RCAO του μήνα Αυγούστου

Διόρθωση τιμών Αυγούστου 2070-2100					
Αύγουστος	Τιμές RCAO	Αθροιστική(x)	Διόρθωση(γ)	Διορθωμένες τιμές Αυγούστου ($y_{i+1} - y_i$)	
2070	0,98	0,98	-18,46	0,00	
2071	0,00	0,98	-18,46	0,00	
2072	0,00	0,98	-18,46	0,00	
2073	0,00	0,98	-18,46	0,00	min
2074	0,00	0,98	-18,46	0,00	0
2075	0,00	0,98	-18,46	0,00	max
2076	0,00	0,98	-18,46	0,00	47,8928
2077	3,06	4,04	-5,39	13,08	ave
2078	0,88	4,91	-1,65	3,73	5,47717
2079	0,19	5,10	-0,85	0,80	
2080	3,59	8,70	14,49	15,30	
2081	0,09	8,79	14,89	0,40	
2082	3,96	12,75	31,80	16,91	
2083	0,17	12,92	32,53	0,73	
2084	0,30	13,22	33,80	1,27	
2085	0,00	13,22	33,80	0,00	
2086	0,00	13,22	33,80	0,00	
2087	0,02	13,23	33,87	0,07	
2088	0,00	13,23	33,87	0,00	
2089	0,00	13,23	33,87	0,00	
2090	0,00	13,23	33,87	0,00	
2091	0,52	13,75	36,07	2,20	
2092	0,00	13,75	36,07	0,00	
2093	0,00	13,75	36,07	0,00	
2094	7,41	21,16	67,69	31,62	
2095	0,02	21,17	67,75	0,07	
2096	3,81	24,98	84,03	16,28	
2097	0,00	24,98	84,03	0,00	
2098	11,22	36,20	131,92	47,89	
2099	3,27	39,48	145,90	13,97	

Πίνακας 30. Υπολογισμός νέων τιμών της βροχόπτωσης του μοντέλου RCAO του μήνα Σεπτεμβρίου

Διόρθωση τιμών Σεπτεμβρίου 2070-2100				
Σεπτέμβριος	Τιμές RCAO	Αθροιστική(χ)	Διόρθωση(γ)	Διορθωμένες τιμές Σεπτεμβρίου ($y_{i+1}-y_i$)
2070	0,23	0,23	64,70	0,50
2071	0,46	0,69	65,72	1,02
2072	8,28	8,97	83,99	18,27
2073	23,98	32,95	136,89	52,91
2074	0,14	33,09	137,20	0,31
2075	3,54	36,63	145,01	7,81
2076	0,02	36,65	145,05	0,03
2077	0,09	36,73	145,24	0,19
2078	3,38	40,11	152,68	7,45
2079	2,17	42,28	157,47	4,79
2080	4,17	46,45	166,68	9,20
2081	5,18	51,63	178,10	11,43
2082	32,10	83,73	248,92	70,82
2083	11,77	95,50	274,87	25,96
2084	49,63	145,13	384,35	109,47
2085	21,59	166,71	431,96	47,62
2086	3,99	170,70	440,77	8,81
2087	1,00	171,70	442,98	2,21
2088	6,43	178,13	457,16	14,18
2089	63,66	241,79	597,59	140,43
2090	0,34	242,13	598,35	0,76
2091	16,18	258,31	634,04	35,69
2092	12,02	270,33	660,54	26,51
2093	14,13	284,46	691,72	31,18
2094	15,18	299,64	725,21	33,49
2095	5,36	305,00	737,03	11,82
2096	8,37	313,37	755,49	18,46
2097	5,88	319,25	768,47	12,98
2098	8,38	327,63	786,94	18,48
2099	2,50	330,13	792,46	5,51

Πίνακας 31. Υπολογισμός νέων τιμών της βροχόπτωσης του μοντέλου RCAO του μήνα Οκτωβρίου

Διόρθωση τιμών Οκτωβρίου 2070-2100				
Οκτώβριος	Τιμές RCAO	Αθροιστική(χ)	Διόρθωση(γ)	Διορθωμένες τιμές Οκτωβρίου ($y_{i+1} - y_i$)
2070	83,72	83,72	145,30	85,39
2071	28,18	111,90	174,10	28,80
2072	17,16	129,05	191,63	17,53
2073	40,76	169,81	233,29	41,65
2074	1,34	171,16	234,66	1,37
2075	3,27	174,43	238,01	3,35
2076	25,55	199,98	264,12	26,12
2077	23,84	223,83	288,49	24,37
2078	35,70	259,52	324,97	36,48
2079	7,94	267,46	333,09	8,11
2080	41,83	309,29	375,83	42,75
2081	26,72	336,01	403,14	27,31
2082	4,80	340,81	408,05	4,91
2083	8,37	349,18	416,60	8,55
2084	9,20	358,37	426,00	9,40
2085	9,47	367,84	435,68	9,68
2086	48,53	416,37	485,28	49,60
2087	33,06	449,44	519,06	33,79
2088	11,05	460,49	530,36	11,30
2089	69,55	530,04	601,44	71,08
2090	7,82	537,86	609,43	7,99
2091	101,64	639,50	713,31	103,88
2092	81,11	720,61	796,20	82,89
2093	37,95	758,56	834,99	38,79
2094	34,46	793,02	870,21	35,22
2095	1,31	794,34	871,55	1,34
2096	102,60	896,94	976,41	104,86
2097	59,33	956,27	1037,04	60,63
2098	97,68	1053,95	1136,87	99,83
2099	88,39	1142,34	1227,21	90,34

Πίνακας 32. Υπολογισμός νέων τιμών της βροχόπτωσης του μοντέλου RAO του μήνα Νοεμβρίου

Διόρθωση τιμών Νοεμβρίου 2070-2100				
Νοέμβριος	Τιμές RAO	Αθροιστική(χ)	Διόρθωση(γ)	Διορθωμένες τιμές Νοεμβρίου ($y_{i+1} - y_i$)
2070	28,17	28,17	-32,29	21,95
2071	151,31	179,48	85,58	117,86
2072	33,74	213,23	111,86	26,29
2073	78,41	291,64	172,95	61,08
2074	19,67	311,31	188,27	15,32
2075	32,45	343,77	213,55	25,28
2076	93,87	437,63	286,68	73,12
2077	37,82	475,45	316,14	29,46
2078	64,63	540,09	366,49	50,35
2079	121,61	661,70	461,22	94,73
2080	55,93	717,63	504,79	43,57
2081	35,98	753,61	532,82	28,03
2082	75,71	829,32	591,80	58,98
2083	21,72	851,04	608,72	16,92
2084	15,76	866,80	620,99	12,28
2085	126,23	993,03	719,33	98,34
2086	10,02	1003,05	727,13	7,80
2087	101,78	1104,83	806,42	79,29
2088	48,84	1153,67	844,47	38,05
2089	18,23	1171,90	858,67	14,20
2090	14,62	1186,52	870,06	11,39
2091	42,75	1229,27	903,36	33,30
2092	81,66	1310,92	966,97	63,61
2093	98,54	1409,46	1043,73	76,76
2094	41,75	1451,21	1076,25	32,52
2095	18,66	1469,88	1090,79	14,54
2096	52,37	1522,24	1131,59	40,79
2097	115,86	1638,10	1221,84	90,25
2098	19,70	1657,80	1237,19	15,35
2099	80,90	1738,70	1300,21	63,02

min
7,802168
max
117,86
ave
45,14791
sev
30,49768

Πίνακας 33. Υπολογισμός νέων τιμών της βροχόπτωσης του μοντέλου RCAO του μήνα Δεκεμβρίου

Διόρθωση τιμών Δεκεμβρίου 2070-2100					
Δεκέμβριος	Τιμές RCAO	Αθροιστική(χ)	Διόρθωση(γ)	Διορθωμένες τιμές Δεκεμβρίου ($y_{i+1} - y_i$)	
2070	45,97	45,97	162,68	49,88	
2071	17,56	63,53	181,73	19,06	
2072	40,58	104,11	225,76	44,03	
2073	49,50	153,61	279,47	53,71	min
2074	9,60	163,21	289,88	10,42	4,890963
2075	54,27	217,48	348,77	58,89	max
2076	20,17	237,66	370,66	21,89	172,0066
2077	90,41	328,06	468,75	98,09	ave
2078	75,88	403,94	551,07	82,32	47,01272
2079	64,13	468,07	620,66	69,58	
2080	64,80	532,87	690,97	70,31	
2081	22,41	555,28	715,28	24,31	
2082	13,17	568,45	729,57	14,29	
2083	31,34	599,79	763,57	34,00	
2084	56,83	656,62	825,23	61,66	
2085	12,25	668,87	838,52	13,29	
2086	14,72	683,59	854,49	15,97	
2087	34,34	717,92	891,74	37,25	
2088	36,48	754,40	931,32	39,58	
2089	17,48	771,88	950,29	18,97	
2090	7,25	779,13	958,16	7,87	
2091	15,86	794,99	975,37	17,21	
2092	64,52	859,52	1045,37	70,01	
2093	4,51	864,02	1050,27	4,89	
2094	47,45	911,47	1101,74	51,48	
2095	39,92	951,39	1145,06	43,32	
2096	90,16	1041,55	1242,89	97,83	
2097	158,53	1200,09	1414,89	172,01	
2098	47,38	1247,46	1466,30	51,40	
2099	52,43	1299,89	1523,18	56,89	

Παρατηρούμε από τον Πίνακα 4 του Παραρτήματος ότι στις απευθείας τιμές του RCAO για την περίοδο 2070-2100 δίνεται συνολική βροχόπτωση 8960 mm, δηλαδή μια μείωση της τάξης του 29% σε σχέση με τις πραγματικές τιμές της περιόδου 1960-1990 και μια μείωση της τάξης του 18% σε σχέση με τις τιμές του RCAO την ίδια περίοδο (Παράρτημα Πίνακας 4). Επίσης οι τιμές του RCAO δίνουν συνολική βροχόπτωση 8960 mm και οι διορθωμένες που βρέθηκαν μετά από την επεξεργασία 9754 mm, δηλαδή παρουσιάζουν μια αύξηση της τάξης του 9%. Αυτό που είναι ενδιαφέρον είναι ότι στις μελλοντικές τιμές του RCAO αλλά και στις επεξεργασμένες παρατηρείται πολύ έντονη βροχόπτωση κάποιους μήνες που σε συγκεκριμένες περιπτώσεις, μετά την επεξεργασία, αγγίζει το ποσό των 248 mm ανά μήνα (Μάιος 2077). Τέτοια ξεσπάσματα παρουσιάζονται σε κάθε μήνα, πλην όμως των θερινών. Αυτό σημαίνει ότι η βροχόπτωση θα υποστεί μείωση εκείνη την περίοδο, αλλά σε ορισμένες περιπτώσεις θα έχουμε ακραία φαινόμενα με μεγάλη ποσότητα νερού την οποία φυσικά θα πρέπει να εκμεταλλευτούμε.

8. Κατασκευή συστήματος ασαφούς λογικής του ισοζυγίου της λίμνης Κάρλα και μέτρηση της στάθμης της την περίοδο 2070 - 2072

Στο κεφάλαιο αυτό παρουσιάζεται ένα πρόγραμμα ασαφούς λογικής του ισοζυγίου της λίμνης. Στόχος είναι η καταμέτρηση της διακύμανσης του όγκου του νερού που περιέχει ο ταμιευτήρας. Στη συνέχεια με την διακύμανση του όγκου μέσω της εξίσωσης της στάθμης της λίμνης θα βρεθεί και το βάθος της. Το πρόγραμμα κατασκευάστηκε στο fuzzy logic toolbox του MATLAB.

8.1 Οι μεταβλητές του συστήματος

Η εξίσωση $P+RO\pm\Delta SW-D-ET-I=0$ (Εξίσωση 4.1) είναι ο γενικός τύπος του ισοζυγίου σε ένα υδατικό σύστημα. Στο πρόγραμμα ως μεταβλητές εισόδου νερού στην λίμνη επιλέχθηκαν η επιφανειακή απορροή (RO), η παροχή νερού από τον Πηνειό (Q_{Π}) και η άμεση εισροή νερού στον ταμιευτήρα λόγω βροχόπτωσης (Q_B). Όσον αφορά τις μεταβλητές εξόδου νερού από την λίμνη επιλέχθηκαν η άρδευση (I), η διήθηση (D) και η εξάτμιση (E). Η εξίσωση του ισοζυγίου της λίμνης είναι η:

$$Q_{\Pi} + RO + Q_B - I - D - E = 0 \quad (8.1)$$

Προτού προχωρήσουμε στην ασαφοποίηση των μεταβλητών πρέπει πρώτα να ορίσουμε τις μεταβλητές στο σύστημα της λίμνης. Όσον αφορά την ποσότητα νερού που εκτρέπεται από τον Πηνειό, αυτή την στιγμή εισέρχονται στην λίμνη περίπου $8 \times 10^6 \text{ m}^3$ νερό τον μήνα, από Οκτώβριο έως και Μάιο, δηλαδή δεν υπάρχει εισροή νερού από τον Πηνειό μόνο τους μήνες άρδευσης. Σύμφωνα με τις προγραμματισμένες εργασίες που είναι να γίνουν το επόμενο διάστημα, η εισροή νερού από τον Πηνειό μπορεί να αγγίξει και τα $24 \times 10^6 \text{ m}^3$ νερού τον μήνα.

Οι απορροές της λεκάνης απορροής της Κάρλας υπολογίζονται 43mm/έτος. Σύμφωνα και με τον μέσο όρο βροχόπτωσης που είναι 558 mm/έτος ο συντελεστής απορροής υπολογίζεται περίπου 8%. Αυτό σημαίνει ότι από τον συνολικό όγκο νερού που πέφτει στην λεκάνη απορροής της Κάρλας το 8% εισέρχεται στον ταμιευτήρα. Εφόσον και η λεκάνη απορροής της λίμνης είναι 1012 Km^2 η εξίσωση που μας δίνει τον όγκο του νερού που εισέρχεται στην λίμνη είναι:

$$RO=1012 \times 10^6 \times 0.08 \times P \text{ σε } m^3 \quad (8.2)$$

Η άμεση εισροή νερού λόγω βροχόπτωσης στην επιφάνεια της λίμνης υπολογίζεται από τον τύπο:

$$Q_B=E \times P \text{ σε } m^3 \quad (8.3)$$

όπου $E=38 \times 10^6 \text{ m}^2$ η επιφάνεια της λίμνης.

Οι απαιτήσεις για άρδευση στην περιοχή είναι $13 \times 10^6 \text{ m}^3$ ανά μήνα για τους μήνες Μάιο-Αύγουστο και $7 \times 10^6 \text{ m}^3$ τον Σεπτέμβριο. Επίσης για τις τιμές της διήθησης και της εξάτμισης λαμβάνονται οι μέσοι όροι που είναι $1,5 \times 10^6 \text{ m}^3$ ανά μήνα για την διήθηση και όσον αφορά την εξάτμιση $5 \times 10^6 \text{ m}^3$ ανά μήνα τους μήνες Μάιο έως Σεπτέμβριο και $2 \times 10^6 \text{ m}^3$ ανά μήνα τους υπόλοιπους μήνες. Όσον αφορά την καλοκαιρινή εξάτμιση η τιμή του Μαΐου είναι φυσικά μικρότερη από του Αυγούστου αλλά η διαφορά αντισταθμίζεται αν τρέξουμε συνολικά την εξάτμιση του καλοκαιριού. Όσον αφορά την μορφή του μοντέλου χρησιμοποιήσαμε την μέθοδο Mamdani, συνάθροιση των συμπερασμάτων min και cenroid μέθοδο αποασαφοποίησης.

8. 2 Ασαφοποίηση των μεταβλητών του συστήματος

Η ασαφοποίηση (fuzzification) των μεταβλητών του συστήματος θα παρουσιαστεί σε αυτήν την ενότητα. Προτού αναφερθούμε στις μεταβλητές που εμπλέκονται στο σύστημα πρέπει να κάνουμε μια ιδιαίτερη αναφορά στη βροχόπτωση από την οποία εξαρτώνται άμεσα οι τιμές της απορροής και της άμεσης εισροής νερού στην λίμνη.

Οι τιμές της βροχόπτωσης της περιόδου 1960-1990 παρουσιάστηκαν σε προηγούμενο κεφάλαιο . Με βάση αυτές τις τιμές δημιουργήθηκαν τρεις κλάσεις για τη βροχόπτωση min (μικρή βροχόπτωση), med (μεσαία βροχόπτωση), max (μεγάλη βροχόπτωση). Η διακύμανση των τιμών για αυτές τις κλάσεις προήλθε από την κατανομή των τιμών της βροχόπτωσης κατά αύξοντα τιμή και τον χωρισμό των τιμών σε τρία υποσύνολα με τον ίδιο αριθμό στοιχείων. Η κάθε κλάση έχει 120 στοιχεία και το όριο της κάθε κλάσης αντιστοιχεί στη τιμή του πρώτου και του τελευταίου

στοιχείου. Με βάση τα παραπάνω δημιουργήθηκε ο πίνακας 34 στον οποίο παρουσιάζονται τα δεδομένα.

Πίνακας 34. Κλάσεις μηνιαίων τιμών βροχόπτωσης περιόδου 1960-1990

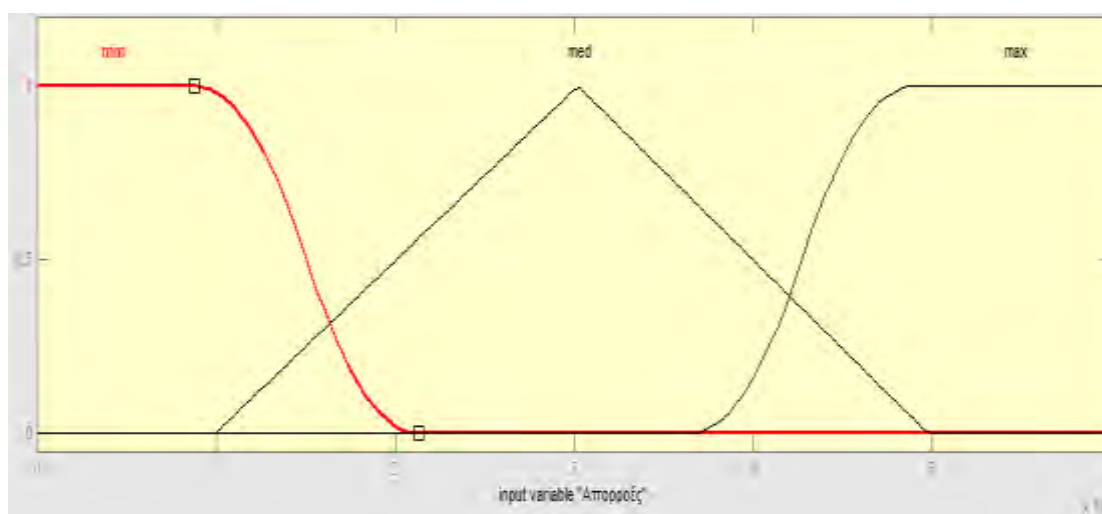
1η κλάση	0-15 mm
2η κλάση	15-40 mm
3η κλάση	40-240mm

Στη συνέχεια με βάση την διακύμανση της κάθε κλάσης ξεχωριστά έγινε η ασαφοποίηση των τιμών της απορροής και της άμεσης εισροής νερού στον ταμιευτήρα χρησιμοποιώντας τις εξισώσεις 8.2 , 8.3 . Η ασαφοποίηση των μηνιαίων τιμών της απορροής με βάση την βροχόπτωση και η συνάρτηση συμμετοχής της (Εικόνα 3) δίνεται παρακάτω:

Minimum: $0 - 2 \times 10^6 \text{ m}^3$

Medium: $1 \times 10^6 \text{ m}^3 - 5 \times 10^6 \text{ m}^3$

Maximum: $RO > 5 \times 10^6 \text{ m}^3$



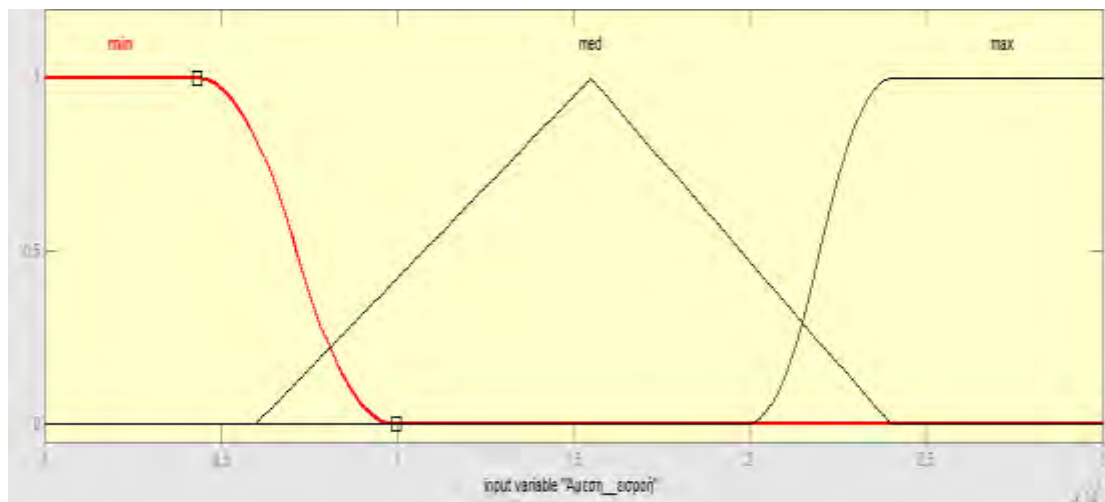
Εικόνα 4. Συναρτήσεις συμμετοχής (Membership function) των απορροών της βροχόπτωσης

Η ασαφοποίηση των τιμών της άμεσης εισροής νερού στον ταμιευτήρα και η συνάρτηση συμμετοχής της δίνεται παρακάτω:

Minimum: $0 - 1 \times 10^6 \text{ m}^3$

Medium: $0,6 \times 10^6 \text{ m}^3 - 2,3 \times 10^6 \text{ m}^3$

Maximum: $Q_B > 2 \times 10^6 \text{ m}^3$



Εικόνα 5. Συναρτήσεις συμμετοχής (Membership function) της άμεσης εισροής νερού στον ταμιευτήρα από την βροχόπτωση

Η συνάρτηση συμμετοχής της εισροής νερού στον ταμιευτήρα από τον Πηνειό με βάση τα σημερινά δεδομένα, τα έργα που πρόκειται να γίνουν αλλά και με τους κανονισμούς που ισχύουν για τους μήνες Ιούνιο έως και Σεπτέμβριο είναι:

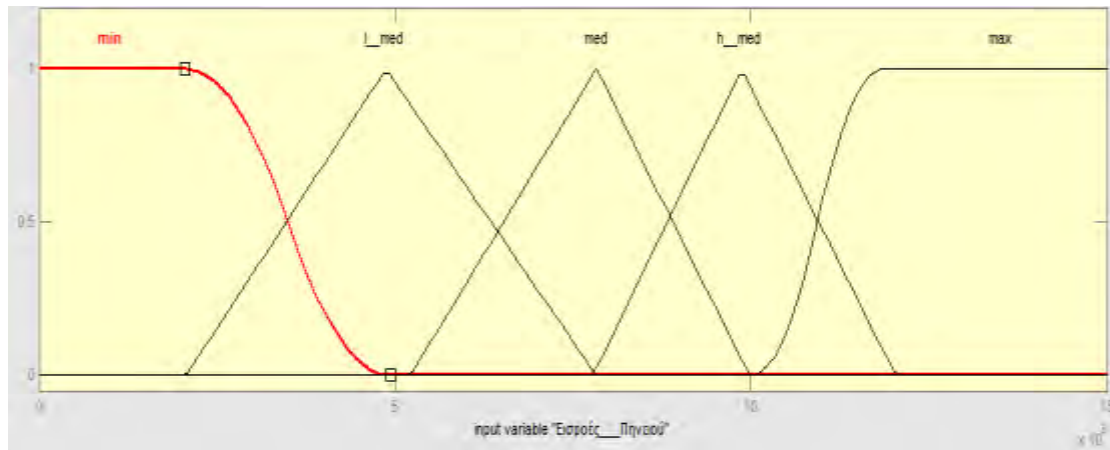
Minimum: $0 - 5 \times 10^6 \text{ m}^3$

Low medium: $2,5 \times 10^6 \text{ m}^3 - 7,5 \times 10^6 \text{ m}^3$

Medium: $5 \times 10^6 \text{ m}^3 - 10 \times 10^6 \text{ m}^3$

High medium: $7,5 \times 10^6 \text{ m}^3 - 12,5 \times 10^6 \text{ m}^3$

Maximum: $Q_{II} > 10 \times 10^6 \text{ m}^3$



Εικόνα 6. Συναρτήσεις συμμετοχής (Membership function) της εισροής νερού στον ταμιευτήρα από τον Πηνεϊό

Για την ασαφοποίηση των μεταβλητών εκροής νερού από τον ταμιευτήρα βρέθηκαν για κάθε μια ξεχωριστά τα παρακάτω. Η ασαφοποίηση της άρδευσης χρειάστηκε πέντε συναρτήσεις συμμετοχής για να οδηγήσει σε σωστά αποτελέσματα. Λαμβάνοντας υπόψη τις ποσότητες νερού που χρειάζονται κατασκευάστηκαν τα παρακάτω.

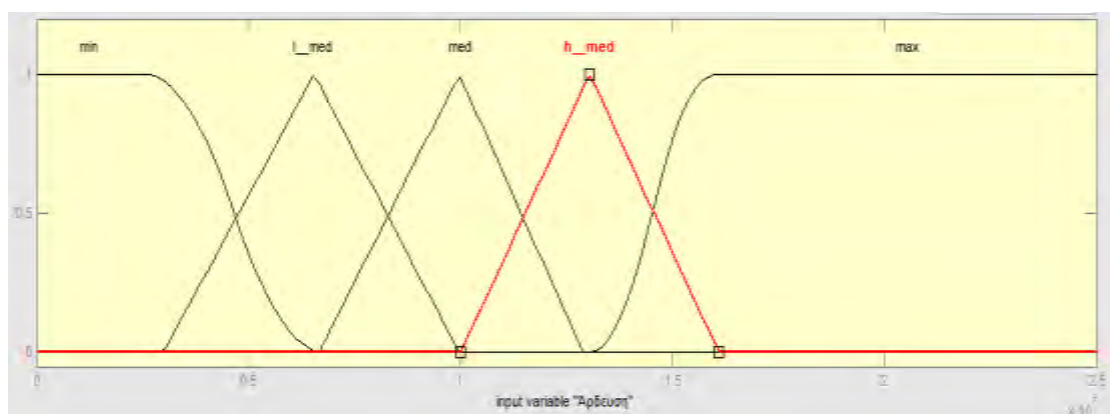
Minimum: $0 - 7,5 \times 10^6 \text{ m}^3$

Low medium: $2,5 \times 10^6 \text{ m}^3 - 10 \times 10^6 \text{ m}^3$

Medium: $7,5 \times 10^6 \text{ m}^3 - 12,5 \times 10^6 \text{ m}^3$

High medium: $10 \times 10^6 \text{ m}^3 - 16 \times 10^6 \text{ m}^3$

Maximum: $I > 16 \times 10^6 \text{ m}^3$



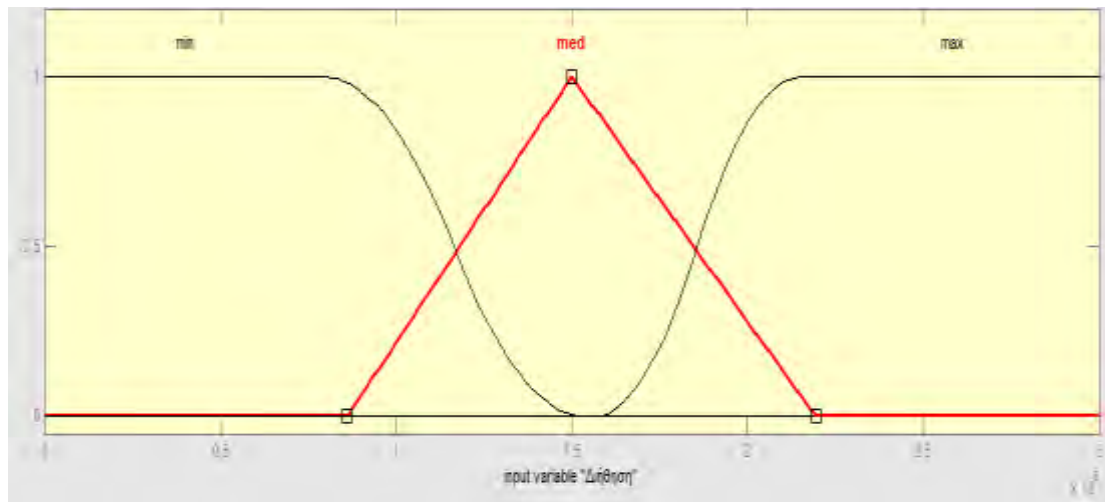
Εικόνα 7. Συναρτήσεις συμμετοχής (Membership function) της άρδευσης

Η ασαφοποίηση της διήθησης, που σε γενικές γραμμές είναι σταθερή αλλά ανάλογα την επιφάνεια της λίμνης κυμαίνεται γύρω από την μέση τιμή $1,5 \times 10^6$ οδήγησε στα παρακάτω αποτελέσματα. Θέτοντας ως 100% medium την παραπάνω τιμή τα άκρα της συνάρτησης συμμετοχής αυτή βρέθηκαν με πρόσθεση και αφαίρεση του 50% του παραπάνω ποσού.

Minimum: $0 - 1,5 \times 10^6 \text{ m}^3$

Medium: $0,75 \times 10^6 \text{ m}^3 - 2,25 \times 10^6 \text{ m}^3$

Maximum: $D > 1,5 \times 10^6 \text{ m}^3$



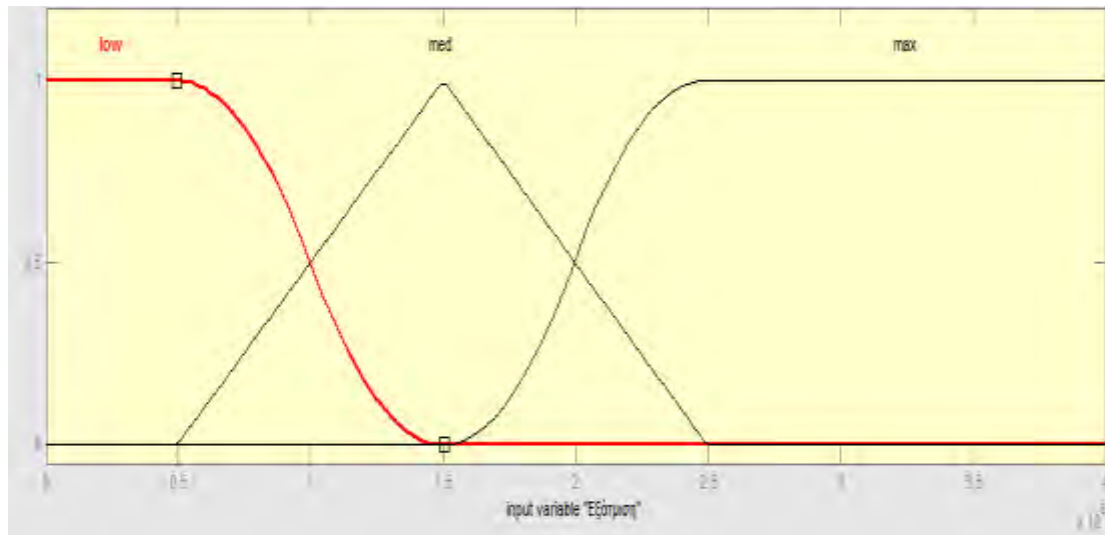
Εικόνα 8. Συναρτήσεις συμμετοχής (Membership function) της διήθησης

Για την εξάτμιση λήφθηκαν υπόψη οι μέσες τιμές των μηνών Οκτωβρίου έως Απριλίου και οι μέσες τιμές των μηνών Μαΐου έως Σεπτεμβρίου που αναφέρθηκαν προηγουμένως. Ως μέγιστο (maximum) ορίστηκε η εξάτμιση το καλοκαίρι και ως μέσο (medium) η εξάτμιση τους υπόλοιπους μήνες.

Minimum: $0 - 1.5 \times 10^6 \text{ m}^3$

Medium: $0,5 \times 10^6 \text{ m}^3 - 2,5 \times 10^6 \text{ m}^3$

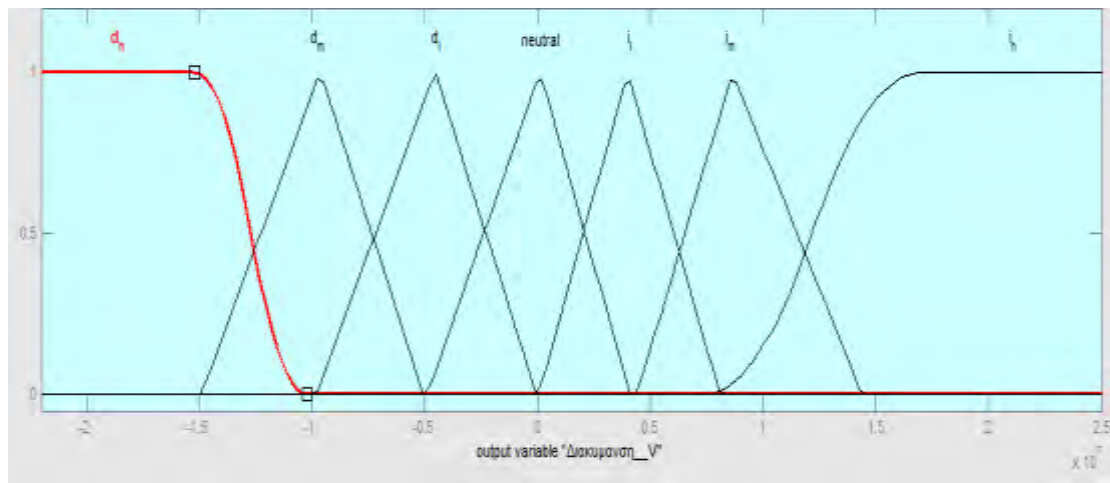
Maximum: $E > 1,5 \times 10^6 \text{ m}^3$



Εικόνα 9. Συναρτήσεις συμμετοχής (Membership function) της εξάτμισης

Για την έξοδο του συστήματος, την διακύμανση του όγκου του νερού της λίμνης, βρέθηκαν οι δυο ακραίες καταστάσεις του συστήματος. Η πρώτη είναι να έχουμε την μέγιστη εισροή νερού από τον Πηνειό, τη μέγιστη βροχόπτωση, καθόλου άρδευση και τους μέσους όρους για την εξάτμιση και την διήθηση τους χειμερινούς μήνες. Η άλλη ακραία κατάσταση είναι να μην έχουμε καθόλου εισροή νερού από τον Πηνειό, καθόλου βροχόπτωση, μέγιστη εκροή νερού για άρδευση, μέγιστη εξάτμιση και διήθηση. Με βάση αυτά τα όρια για την καλύτερη λειτουργία του συστήματος η διακύμανση του όγκου εκφράζεται με 7 συναρτήσεις συμμετοχής που παρουσιάζονται παρακάτω:

Decrease high:	$\Delta V < -10 \times 10^6 \text{ m}^3$
Decrease medium:	$-15 \times 10^6 \text{ m}^3 - -5 \times 10^6 \text{ m}^3$
Decrease low:	$0 \text{ m}^3 - -10 \times 10^6 \text{ m}^3$
Neutral:	$-5 \times 10^6 \text{ m}^3 - 5 \times 10^6 \text{ m}^3$
Increase low:	$0 \times 10^6 \text{ m}^3 - 7.5 \times 10^6 \text{ m}^3$
Increase medium:	$5 \times 10^6 \text{ m}^3 - 15 \times 10^6 \text{ m}^3$
Increase high:	$\Delta V > 7.5 \times 10^6 \text{ m}^3$



Εικόνα 10. Συναρτήσεις συμμετοχής (Membership function) της μεταβολής του όγκου του νερού της λίμνης.

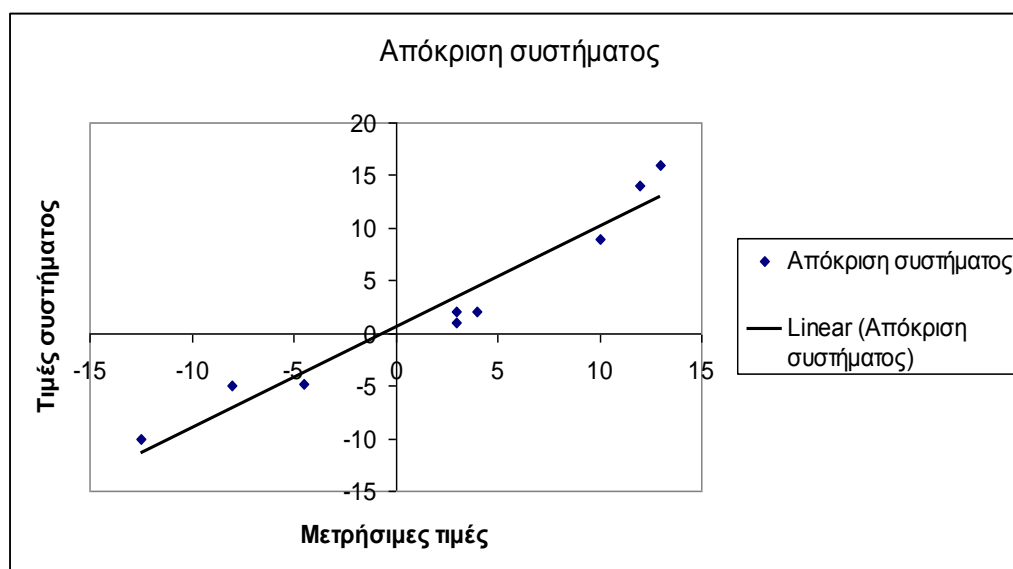
8.3 Εισαγωγή των ασαφών κανόνων

Με την πραγματοποίηση της ασαφοποίησης των μεταβλητών εισόδου και εξόδου, στη συνέχεια πρέπει να ολοκληρωθεί και ο ορισμός των ασαφών κανόνων σύμφωνα με τους οποίους θα λειτουργεί το ασαφές σύστημα. Οι κανόνες που ορίστηκαν βασίστηκαν στην εξίσωση του υδατικού ισοζυγίου της λίμνης (Εξίσωση 8.1) και προέκυψαν από τους πιθανούς συνδυασμούς των συναρτήσεων συμμετοχής. Στις μεταβλητές εισόδου ορίστηκαν όλες οι πιθανές πραγματικές τιμές και οι συνδυασμοί τους και με βάση την εξίσωση του ισοζυγίου βρέθηκαν οι τιμές της μεταβολής του όγκου τις οποίες και αντιστοιχίσαμε με μια συνάρτηση συμμετοχής. Στους κανόνες συμπεριλήφθηκαν και ακραία σενάρια όπως της πολύ μεγάλης ή πολύ μικρής βροχόπτωσης με αντίστοιχα μηδαμινής ή υπερβολικής άρδευσης. Στους κανόνες τα κυριότερα στοιχεία τα οποία καθορίζουν την μεταβολή του όγκου είναι η εισροή νερού από τον Πηνειό καθώς και η ποσότητα νερού η οποία διατίθεται για άρδευση. Σε όλους τους κανόνες η τιμή της διήθησης λήφθηκε σταθερή και ίση με τον μέσο όρο της $1,5 \times 10^6$ καθώς δεν επιδρά σε μεγάλο βαθμό στο σύστημα.

Στον ορισμό των κανόνων δεν συμπεριλαμβάνονται κάποιοι συνδυασμοί που δεν είναι δυνατόν να εμφανιστούν, όπως για παράδειγμα μεγάλη απορροή και μικρή άμεση εισροή νερού στη λίμνη λόγω βροχόπτωσης ή το αντίθετο, καθώς και τα δυο εξαρτώνται άμεσα από την τιμή της προαναφερθείσας μεταβλητής. Επίσης για τους μήνες άρδευσης δεν είναι δυνατόν να υπάρχει μικρή εξάτμιση καθώς εκείνη την

περίοδο η τιμή της γίνεται μέγιστη. Σύμφωνα με όλα τα παραπάνω και αποκλείοντας τους παραπάνω πιθανούς συνδυασμούς ο αριθμός των κανόνων ανέρχεται στους 164.

Στο σημείο αυτό θα γίνει μια προσπάθεια εξέτασης της απόκρισης του προγράμματος που κατασκευάστηκε ώστε να βρεθεί μια καμπύλη απόκρισης του σε σχέση με τις μετρήσιμες τιμές που προκύπτουν από την εξίσωση του ισοζυγίου. Για το σκοπό αυτό χρησιμοποιήθηκαν 10 τιμές εισόδου της κάθε μεταβλητής ξεχωριστά. Βρέθηκε η απόκριση του προγράμματος και στη συνέχεια η τιμή εξόδου μέσω πράξεων από την εξίσωση του ισοζυγίου. Η απόκλιση των τιμών των σημείων της εξίσωσης με αυτά του προγράμματος είναι πολύ μικρή. Η καμπύλη που κατασκευάστηκε για το σύστημα δίνεται παρακάτω στο διάγραμμα 31.



Διάγραμμα 25. Καμπύλη απόκρισης του συστήματος

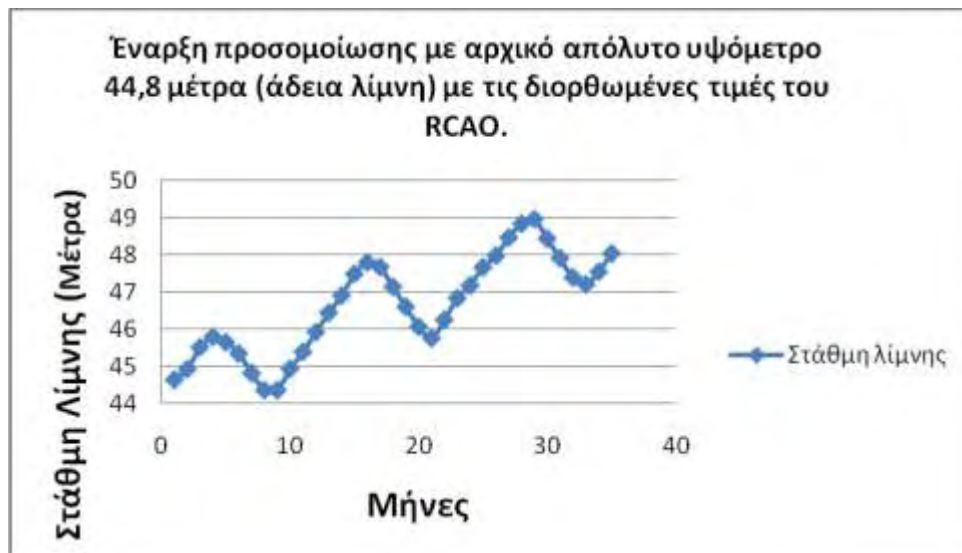
Παρατηρούμε ότι με την ασαφοποίηση των μεταβλητών το πρόγραμμα δεν πραγματοποιεί ένα απλό άθροισμα των τιμών αλλά προσφέρει μια τιμή της διακύμανσης του όγκου η οποία συμπεριλαμβάνει και άλλους παράγοντες οι οποίοι επηρεάζουν το σύστημα και δεν μπορούμε να τους προσδιορίσουμε. Στις πραγματικές συνθήκες αυτό παίζει σημαντικό ρόλο και είναι η αιτία που χρησιμοποιήθηκε η ασαφής λογική στην υδρολογία.

8. 4 Μέτρηση μελλοντικών τιμών διακύμανσης του όγκου της λίμνης και εύρεση της στάθμης της την τριετία 2070 – 2072

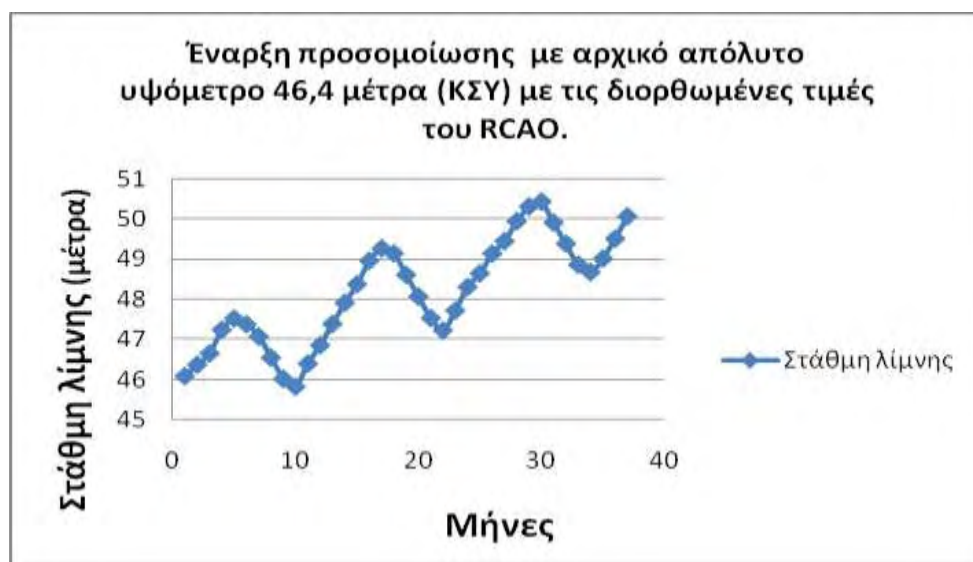
Έχοντας τις τιμές της βροχόπτωσης της περιόδου 2070-2100 τόσο του RCAO όσο και αυτές που έχουν υποστεί κάποια διόρθωση χρησιμοποιώντας το πρόγραμμα που κατασκευάσαμε στο Matlab βρήκαμε τις μεταβολές του όγκου της λίμνης και στη συνέχεια με την εξίσωση 6. 2 τη διακύμανση της στάθμης της την περίοδο αυτή. Ως αρχική στάθμη, δηλαδή την στάθμη της λίμνης τον Ιανουάριο του έτους 2070, χρησιμοποιήσαμε τρεις περιπτώσεις. Η πρώτη περίπτωση είναι η λίμνη να είναι τελείως άδεια, η δεύτερη στην οποία το απόλυτο ύψος της στάθμης είναι 46,40 μ. (Κατώτατη στάθμη ύδατος) και η τρίτη στην οποία το απόλυτο ύψος της στάθμης είναι 48,80μ. (Ανώτατη στάθμη άρδευσης). Η στάθμη της λίμνης υπολογίζεται και για τις δυο περιπτώσεις των τιμών βροχόπτωσης, δηλαδή του RCAO αλλά και αυτές που προέκυψαν μετά την διόρθωση.

Με τις μετρήσεις της βροχόπτωσης που προέκυψαν από την διόρθωση βρέθηκαν η απορροή και η άμεση εισροή του κάθε μήνα ξεχωριστά για αυτά τα τρία έτη (Πίνακας 5α,β, Πίνακας 6α,β του Παραρτήματος). Στη συνέχεια τοποθετώντας και τις υπόλοιπες μεταβλητές για κάθε μήνα ανάλογα την τιμή που έχουν βρέθηκε η μεταβολή του όγκου από το πρόγραμμα. Στη τιμή της εισροής νερού από τον Πηνειό τοποθετήσαμε μια μέση κατάσταση, με βάση τα προβλεπόμενα έργα που είναι να γίνουν, 20 εκ. κ.μ.. Η τιμή αυτή μπορεί να αγγίξει και το μέγιστο 25 εκ. κ.μ. μηνιαίως. Στην συνέχεια κάνοντας χρήση της εξίσωσης 6.2 βρέθηκε η στάθμη της λίμνης για κάθε μήνα της τριετίας για κάθε σενάριο. Τα διαγράμματα υπολογίστηκαν για τα έτη 2070-2072 καθώς ο όγκος του νερού στη λίμνη έχει φτάσει στο ανώτατό του όριο την περίοδο αυτή. Τα διαγράμματα παρουσιάζονται παρακάτω:

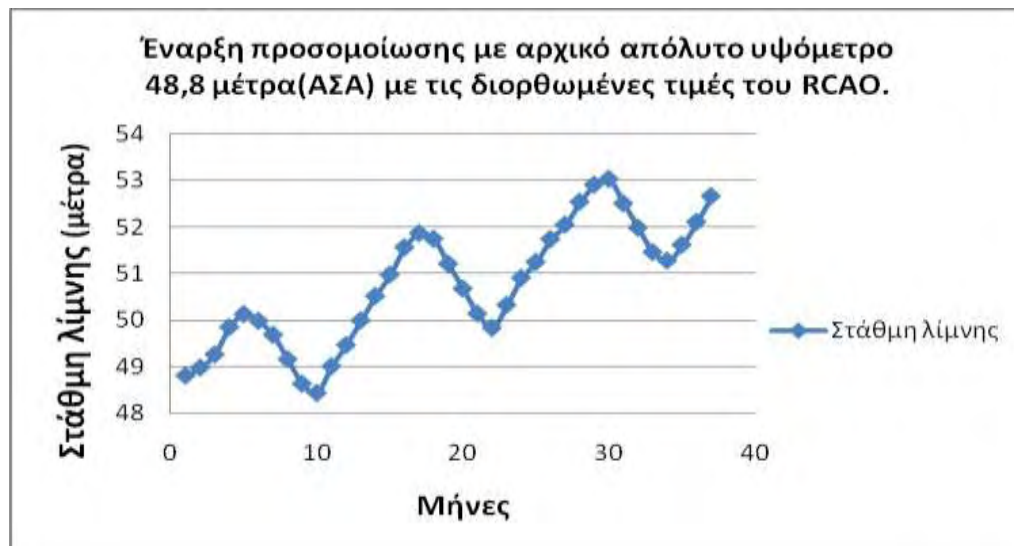
Τα παρακάτω διαγράμματα (Διαγράμματα 24-26) μας παρέχουν την στάθμη της λίμνης για τα έτη 2070-2072 σύμφωνα με τις τιμές της βροχόπτωσης του RCAO που προέκυψαν μετά την διόρθωση.



Διάγραμμα 26. Στάθμη της λίμνης τα έτη 2070-2072 , με αρχικό υψόμετρο τα 44,80 μέτρα

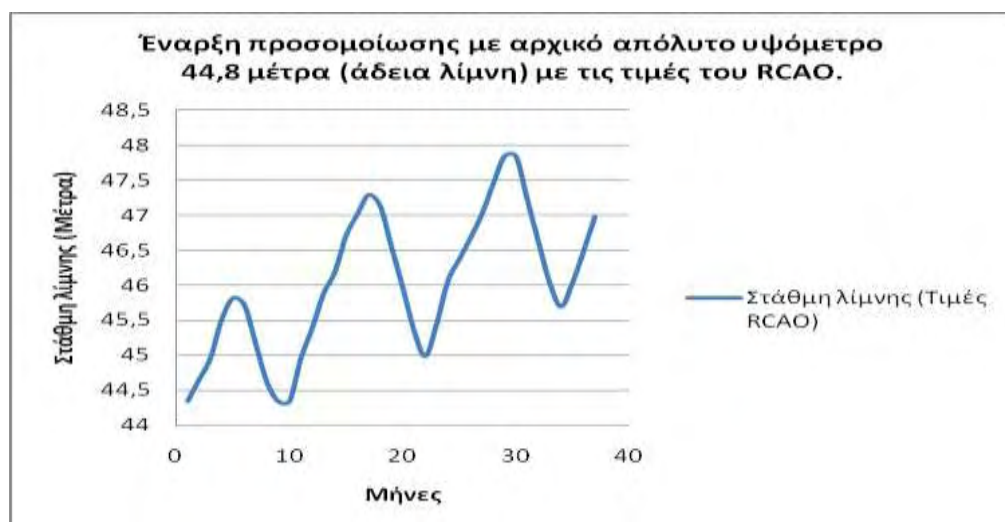


Διάγραμμα 27. Στάθμη της λίμνης τα έτη 2070-2072 , με αρχική στάθμη τα 48,80 μέτρα

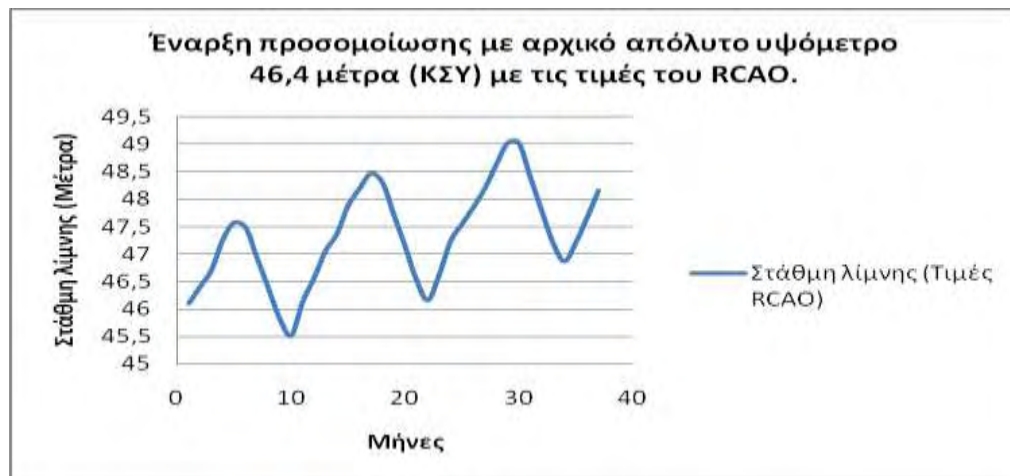


Διάγραμμα 28. Στάθμη της λίμνης τα έτη 2070-2072 , με αρχική στάθμη τα 46,40 μέτρα

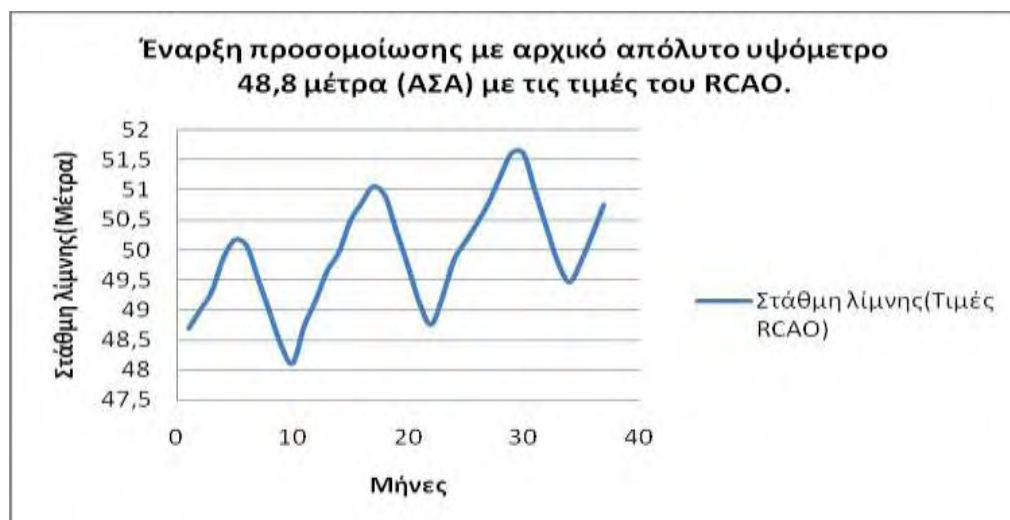
Στη συνέχεια παρουσιάζεται η στάθμη της λίμνης χρησιμοποιώντας τις απευθείας τιμές του μοντέλου RCAO. Τα διαγράμματα είναι τα παρακάτω:



Διάγραμμα 29. Στάθμη της λίμνης τα έτη 2070-2072 , με αρχική στάθμη τα 0 μέτρα για τις τιμές του RCAO



Διάγραμμα 30. Στάθμη της λίμνης τα έτη 2070-2072 , με αρχική στάθμη τα 46,40 μέτρα για τις τιμές του RCAO



Διάγραμμα 31. Στάθμη της λίμνης τα έτη 2070-2072 , με αρχική στάθμη τα 48,80 μέτρα για τις τιμές του RCAO

Τα διαγράμματα της στάθμης της λίμνης έχουν ένα κύριο χαρακτηριστικό. Και για τις δυο περιπτώσεις υπολογισμού της απορροής και της άμεσης εισροής το βάθος της λίμνης αυξάνεται κάθε χρόνο . Όταν χρησιμοποιούμε τις τιμές του RCAO η αύξηση του βάθους είναι μικρότερη σε σχέση με τις διορθωμένες τιμές. Πολύ σημαντικό είναι επίσης ότι τόσο με τις διορθωμένες αλλά και με τις απευθείας τιμές του μοντέλου στο τέλος της περιόδου άρδευσης η στάθμη έχει ελαττωθεί κατά 2-3 μέτρα περίπου, τιμή η οποία βρίσκεται στα όρια των τεχνικών χαρακτηριστικών της λίμνης.

9. Συμπεράσματα – Συζήτηση

Κατά την εκπόνηση της παρούσας εργασίας, μελετήθηκε το υδρολογικό σύστημα της περιοχής της λίμνης Κάρλας τόσο την περίοδο 1960 – 1990 όσο και τα έτη 2070 – 2100. Αρχικά με τα δεδομένα του μετεωρολογικού σταθμού από την περιοχή της Λάρισας, έγινε μια επεξεργασία των μηνιαίων δεδομένων της βροχόπτωσης και βρέθηκε ή μηνιαία βροχόπτωση εκείνης της περιόδου, ο μηνιαίος μέσος όρος, τα ελάχιστα και τα μέγιστα του κάθε μήνα αλλά και ετησίως, η ετήσια βροχόπτωση αλλά και η συνολική βροχόπτωση των 30 ετών της περιόδου 1960 - 1990. Στη συνέχεια αφού βρέθηκαν οι σφαιρικές συντεταγμένες $lon - lat$ της περιοχής της λίμνης για τα τρία μοντέλα που επιλέχθηκαν με βάση τις γεωγραφικές συντεταγμένες βρέθηκαν οι μηνιαίες τιμές της βροχόπτωσης των ετών 1960 – 1990 και 2070 – 2100 και υπολογίστηκαν τα ίδια στατιστικά στοιχεία όπως προηγουμένως. Με τις τιμές της περιόδου 1960 – 1990 έγινε ένας έλεγχος των ετήσιων πραγματικών τιμών και των τιμών των μοντέλων. Από τα διαγράμματα ετήσιας βροχόπτωσης – έτους βρέθηκε ότι οι τιμές των περιοχικών μοντέλων HIRHAM, REMO έχουν μεγάλες αποκλίσεις από τις πραγματικές. Σε μερικές περιπτώσεις για κάποια έτη τόσο στο REMO όσο και στο HIRHAM οι αποκλίσεις αγγίζουν τα 600 mm. Αντιθέτως από το μοντέλο RCAO οι τιμές είναι πολύ «κοντά» στις πραγματικές εκτός από κάποιες μικρές αποκλίσεις ορισμένων ετών. Συγκεκριμένα η απόκλιση είναι μεγαλύτερη το έτος 1960 όπου η τιμή του RCAO υστερεί κατά 300 mm από την πραγματική καθώς και το έτος 1982 όπου η τιμή του RCAO υστερεί κατά 200 mm. Όλες οι άλλες αποκλίσεις είναι μικρότερες και κυμαίνονται από 0-100 mm. Αν παρατηρήσουμε τις μηνιαίες τιμές, αυτές παρουσιάζουν την μεγαλύτερη απόκλιση τον μήνα Ιούλιο, ενώ τους άλλους μήνες οι αποκλίσεις είναι γενικά σταθερές. Αξιοσημείωτο είναι το ότι στη χρονοσειρά της βροχόπτωσης του RCAO και του μετεωρολογικού σταθμού έχουμε πολύ καλή ανταπόκριση των τοπικών ελαχίστων και μεγίστων των καμπύλων που σε πολλές περιπτώσεις ταυτίζονται. Αυτό ενίσχυσε την απόφαση να χρησιμοποιηθούν οι τιμές του RCAO έναντι των άλλων μοντέλων. Ενδεικτικά αναφέρεται ότι η συνολική βροχόπτωση της 30ετίας για τα διάφορα μοντέλα είναι 6.353mm για το HIRHAM, 16.321mm για το REMO και 10.908 mm για το RCAO. Γνωρίζοντας από το μετεωρολογικό σταθμό ότι η πραγματική

βροχόπτωση της 30ετίας είναι 12.575 mm έχουμε τα αντίστοιχα ποσοστά απόκλισης που είναι 50% μειωμένο για το HIRHAM, 30% αυξημένο για το REMO και 8% μειωμένο για το RCAO. Η τιμή της βροχόπτωσης των 30 ετών για το RCAO βρίσκεται μέσα στα πλαίσια του στατιστικού λάθους του 10%. Όσον αφορά τις μηνιαίες τιμές του RCAO φαίνεται η «τάση» να έχει πολύ χαμηλές ή μηδενικές τιμές βροχόπτωσης τους μήνες Ιούνιο-Ιούλιο-Αύγουστο και κάποιες χρονιές να έχει κάποια ξεσπάσματα με σχετικά μέτριες τιμές βροχόπτωσης που αγγίζουν περίπου τα 24 mm. Αντιθέτως οι πραγματικές τιμές δεν είναι τόσο χαμηλές και σε μερικές περιπτώσεις παίρνουν τιμές μέχρι και 131 mm (Ιούλιος 1972). Όσον αφορά τους μηνιαίους μέσους όρους οι τιμές του μοντέλου υστερούν τους καλοκαιρινούς μήνες και υπερτερούν τους χειμερινούς. Τους ανοιξιάτικους και φθινοπωρινούς μήνες οι τιμές είναι αρκετά κοντά.

Με βάση τις παραπάνω παρατηρήσεις πραγματοποιήθηκε στατιστική επεξεργασία στις τιμές του RCAO σε κάθε μήνα ξεχωριστά με τη χρήση της διπλής αθροιστικής. Από τις καμπύλες της διπλής αθροιστικής και της γραμμής ελαχίστων τετραγώνων αυτών αποδείχθηκε αυτό που είχε παρατηρηθεί και από τους πίνακες. Όλοι οι μήνες του έτους παρουσιάζουν μια μικρή γραμμική απόκλιση, εκτός από τον μήνα Ιούλιο στον οποίο η απόκλιση αγγίζει το 30%. Στη συνέχεια βρέθηκαν οι νέες τιμές που προκύπτουν με τη χρήση των εξισώσεων. Αν συγκρίνουμε τις τιμές του RCAO με αυτές που προκύπτουν μετά την διόρθωση για την περίοδο 1960-1990 παρατηρούμε ότι οι νέες τιμές είναι μεγαλύτερες τους χειμερινούς μήνες, μικρότερες τους θερινούς και σχετικά αμετάβλητες τους υπόλοιπους μήνες.

Στη συνέχεια πραγματοποιήθηκε διόρθωση των μελλοντικών τιμών βροχόπτωσης του RCAO χρησιμοποιώντας τις προηγούμενες εξισώσεις. Συγκρίνοντας τις νέες τιμές με τις τιμές του μοντέλου παρατηρούμε ότι δεν αλλάζει ο αριθμός των μηνών που έχουμε μηδενική βροχόπτωση το καλοκαίρι αλλά αυξάνονται τα χιλιοστά βροχής της μηνιαίας βροχόπτωσης. Τους υπόλοιπους μήνες έχουμε διάφορες αυξομειώσεις. Η γενική τάση είναι να έχουμε ελαφρώς μείωση τους μήνες Ιανουάριο, Μάιο και Νοέμβριο και αύξηση όλους τους υπόλοιπους. Τόσο στις νέες τιμές αλλά και στις παλιές το καλοκαίρι η βροχόπτωση είναι πολύ χαμηλή και ορισμένες χρονιές προβλέπεται να μη βρέξει καθόλου κατά την διάρκεια του καλοκαιριού. Αυτό έχει σαν συνέπεια, όπως θα αναφερθεί και παρακάτω την αισθητή πτώση της στάθμης της λίμνης στο τέλος της περιόδου άρδευσης. Επίσης σημαντική είναι η παρατήρηση των διαφόρων ακραίων φαινομένων που προβλέπονται,

ιδιαίτερος τους χειμερινούς-εαρινούς μήνες με μεγάλα ύψη βροχής. Αυτό σημαίνει ότι λόγω της ιδιαίτερης έλλειψης νερού εκείνης της περιόδου, πρέπει να βρεθούν τρόποι αποθήκευσης του. Όσον αφορά τη συνολική βροχόπτωση της 30ετίας από τις τιμές του RCAO είναι 8.959 mm και από τις διορθωμένες 9.754 mm δηλαδή μια αύξηση του 8,5%.

Έχοντας δυο είδη τιμών βροχόπτωσης για την περίοδο που ασχολούμαστε, στη συνέχεια βρέθηκαν οι μηνιαίες τιμές της απορροής και της άμεσης εισροής νερού από την βροχόπτωση. Σαν ποσοστό απορροής πάρθηκε το 8%. Αυτό φυσικά είναι ο μέσος όρος καθώς αυτό το ποσοστό αυξάνεται ή μειώνεται ανάλογα το ύψος της βροχής. Πάντως η μεταβολή του ποσοστού δεν παίζει σημαντικό ρόλο στο υδατικό ισοζύγιο καθώς οι διαφορές στην απορροή είναι σχετικά μικρές σε σχέση με την εισροή νερού από τον Πηνειό ή την εκροή νερού για άρδευση. Λαμβάνοντας υπόψη τις τιμές των εισροών νερού στην λίμνη καθώς και τις τιμές της άρδευσης και της εξάτμισης παρατηρούμε ότι με τις σημερινές ανάγκες για άρδευση θα πρέπει η εισροή νερού στη λίμνη από τον Πηνειό να συνεχιστεί. Ακόμα και αν η άρδευση από το νερό της λίμνης διακοπεί αλλά και η εισροή νερού από τον Πηνειό σταματήσει τότε η λίμνη δε μπορεί να αναπληρώσει το νερό που χάνεται (περίπου 58 εκατομμύρια κ.μ. ετησίως) μέσω της βροχόπτωσης. Αν λάβουμε υπόψη και την άνοδο της μέσης θερμοκρασίας κατά 1-2 βαθμούς Κελσίου που προβλέπεται από το RCAO, που συνεπάγεται και αύξηση της εξάτμισοδιαπνοής, τότε καταλήγουμε στο συμπέρασμα ότι το νερό του Πηνειού χρειάζεται οπωσδήποτε για την ομαλή λειτουργία της λίμνης αλλά όχι για όλους τους μήνες (Οκτώβριο έως Μάιο) .

Με την εύρεση των τιμών των μεταβλητών εισόδου του ασαφούς συστήματος, με τη χρήση του βρέθηκε η μηνιαία διακύμανση του όγκου της λίμνης και στη συνέχεια η διακύμανση της στάθμης της. Από την καμπύλη απόκρισης του συστήματος (διάγραμμα 25) παρατηρούμε μια αρκετά καλή απόκριση του προγράμματος σε σχέση με τους υπολογισμούς από την εξίσωση του ισοζυγίου. Τα αποτελέσματα από τη χρήση ενός τέτοιου συστήματος μπορεί να είναι όχι μόνο ποιοτικά αλλά πολλές φορές και ποσοτικά σε σχέση με μια απλή αλγεβρική προσθαφαίρεση καθώς οι τιμές εισόδου δεν έχουν ποτέ σταθερή τιμή και έτσι η ασάφεια η οποία ορίζει ένα εύρος τιμών σε κάθε συνάρτηση συμμετοχής αποδίδει καλύτερα. Βρέθηκε η διακύμανση τόσο για τις τιμές του μοντέλου όσο και για τις διορθωμένες.

Με βάση όλα τα παραπάνω καταλήξαμε στο ζητούμενο που είναι η εύρεση της στάθμης της λίμνης εκείνης της περιόδου έχοντας ως αρχική κατάσταση τις τρεις στάθμες λειτουργίας. Την εντελώς άδεια λίμνη, το κατώτατο στάδιο ύδατος (ΚΣΥ) και το ανώτατο στάδιο άρδευσης (ΑΣΑ). Βρέθηκε η στάθμη και για τα δυο σενάρια βροχόπτωσης. Όσον αφορά την περίπτωση που στάθμη του νερού βρίσκεται στο απόλυτο υψόμετρο των 44,6 μ. και από τα δυο διαγράμματα (που αντιστοιχούν στα δυο σενάρια) παρατηρείται ότι αν δεν υπήρχαν απαγορευτικά όρια στάθμης για άρδευση και χρησιμοποιούνταν το νερό της λίμνης κανονικά τότε η λίμνη δε θα ξεπερνούσε σε τρία χρόνια την ανώτατη στάθμη άρδευσης. Η λίμνη ανέρχεται στο ΚΣΥ μετά από 1,5 χρόνο αλλά τόσο το 2^ο αλλά και το 3^ο έτος δεν επαρκεί για άρδευση.

Όταν η αρχική κατάσταση είναι η κατώτατη στάθμη ύδατος παρατηρούμε ότι με βάση τις τιμές του RCAO και χρησιμοποιώντας την λίμνη χωρίς περιορισμούς η στάθμη φτάνει την ΑΣΑ μετά από 2,5 χρόνια και δεν φτάνει την στάθμη πλημμύρας στα 3 έτη. Αντίθετα από τις διορθωμένες τιμές του RCAO παρατηρείται ότι σε ενάμιση χρόνο η στάθμη φτάνει το ΑΣΑ, με μια μεγάλη εισροή νερού από Οκτώβρη 2070 έως Μάιο 2071 όπου η στάθμη αυξάνεται κατά 3 μέτρα. Την επόμενη χρονιά η στάθμη ξεπερνά το επίπεδο της πλημμύρας. Επίσης παρατηρείται ότι υπάρχει πρόβλημα άρδευσης στο έτος 2070 και για τα δυο σενάρια ενώ από το 2^ο έτος και μετά δεν υπάρχει.

Στο πιο ρεαλιστικό σενάριο, αυτό της ανώτατης στάθμης ύδατος, αφού η λίμνη θα είναι γεμάτη εκείνη την περίοδο, δεν υπάρχει κανένα πρόβλημα όσον αφορά την ποσότητα νερού για άρδευση και στα δυο σενάρια. Επίσης επειδή το νερό ξεπερνά το επίπεδο πλημμύρας υπάρχει η δυνατότητα να μειωθεί ή και να διακοπεί για κάποιο διάστημα η παροχή από τον Πηνειό. Στο τέλος της περιόδου άρδευσης η στάθμη πέφτει περίπου κατά 2 μέτρα και με την μέγιστη παροχή από τον Πηνειό το νερό αναπληρώνεται σε τρεις περίπου μήνες. Με την αναμενόμενη αύξηση της μέσης θερμοκρασίας την συγκεκριμένη περίοδο αλλά και τις προβλέψεις για μεγάλες περιόδους ξηρασίας, η εξατμισοδιαπνοή αλλά και ο όγκος νερού για άρδευση αναμένονται να αυξηθούν ραγδαία. Τα παραπάνω έχουν σαν συνέπεια την μεγαλύτερη ζήτηση νερού. Επειδή η στάθμη της λίμνης δεν είναι δυνατόν για λόγους ασφαλείας να ξεπεράσει τα 50 μέτρα απόλυτο υψόμετρο και για να μην πέσει τον Σεπτέμβριο κάτω από την ΚΣΥ πρέπει οπωσδήποτε να χρησιμοποιηθεί το περισσευούμενο νερό από τον Πηνειό τόσο για ενίσχυση του υδροφόρου ορίζοντα

όσο και για αποθήκευσή του σε κάποιο άλλο σημείο. Επίσης θα ήταν δυνατό με κάποια έργα να αυξηθεί ο όγκος της λίμνης ώστε να υπάρχει μεγαλύτερη δυνατότητα αποθήκευσης νερού. Με αυτές τις ενέργειες θα ικανοποιηθούν οι ανάγκες εκείνης της περιόδου χωρίς κάποια οικολογική επίπτωση στην λίμνη.

Ελληνική Βιβλιογραφία

1. Μελάς, Δ., Ασωνίτης, Γ., Αμοιρίδης, Β., 2000. Κλιματική αλλαγή – Οδηγός εκπαιδευτικών. ΥΠΕΠΘ. Αθήνα 2000.
2. Mpimpas H., Anagnostopoulos P., Ganoulis J. (1998), ‘Solution of the advection – diffusion equation combined with fuzzy arithmetic’, Protection and restoration of the environment IV, Sani, Chalkidiki, 249-256.
3. Ganoulis J. (1994), Engineering risk analysis of water pollution: Probabilities and fuzzy sets, p.307, Wiley.
4. Ganoulis J. (2000), ‘Reliability in groundwater recharge estimation using Fuzzy Arithmetic’, Honorary volume dedicated to professor Emeritus Ioannis D. Mittas, M. Konstantinidou, K. Serafimidis, G. Tsagas (Eds.), Thessaloniki, 159-170.
5. Χαλκίδης Η. (2005), ‘Εφαρμογή της προσεγγιστικής λογικής στους υπόγειους υδροφορείς’, Διδακτορική διατριβή, Α.Π.Θ., Θεσσαλονίκη.
6. Chalkidis I., Tzimopoulos C., Evangelidis C., Sakellariou-Markantonaki M., (2009), ‘Soil water management using fuzzy arithmetic’, Global Nest vol 11.
7. Tzimopoulos C., Giannopoulos S., Chalkidis I., (2009), ‘Recharge of an aquifer using a fuzzy set approach’, A.U.TH., Thessaloniki.
8. <http://geogr.eduportal.gr>
9. <http://el.wikipedia.org/wiki>
10. Ζερεφός Χ. (2001), ‘Φυσική της ατμόσφαιρας και φυσική του περιβάλλοντος’, Υπηρεσία Δημοσιευμάτων ΑΠΘ, Θεσσαλονίκη.
11. Ευτύχιος Ξηράκης (2010), ‘Συστήματα ψήξης με ηλιακή ενέργεια’, διπλωματική εργασία, ΕΜΠ, Αθήνα.
12. Χαρβαλιάς Ιωάννης (2011), ‘Ανάλυση των κλιματικών χαρακτηριστικών της Ανατολικής μεσογείου για τον 21^ο αιώνα’ Μεταπτυχιακή εργασία, Χαροκόπειο πανεπιστήμιο, Αθήνα.
13. <http://climate.wwf.gr>

14. Επιτροπή Μελέτης Επιπτώσεων κλιματικής αλλαγής Τράπεζας της Ελλάδος (2011), Αθήνα
15. Σημειώσεις του μαθήματος Τεχνική Υδρολογία του Πανεπιστημίου Θράκης, Αλεξανδρούπολη.
16. Τσακίρης Γ., (1995), 'Υδατικοί πόροι: Τεχνική υδρολογία', Εκδόσεις Συμμετρία, Αθήνα, σελ. 170-171.
17. Παπαδάκης Σ., Αδαμίδης Π., (2004), 'Ασαφή συστήματα' Θεωρία και εργαστηριακές ασκήσεις, ΤΕΙ Θεσ/κης , Θεσσαλονίκη.
18. Βολογιαννίδης, Σταύρος, *Ευφυής Έλεγχος, Θεωρία και Εφαρμογές*, Διδακτικές σημειώσεις, Τμήμα Πληροφορικής και Επικοινωνιών, ΤΕΙ Σερρών, 2006
19. Παπανίκος Νικόλαος, (2008), 'Ολοκληρωμένη διαχείριση των υδατικών πόρων στην υπο επανασύσταση λίμνη Κάρλα Θεσσαλίας', Μεταπτυχιακή διατριβή, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, Βόλος.
20. Μιμίκου Μαρία, 'Τεχνολογία υδατικών πόρων' , Εκδόσεις Παπασωτηρίου, Αθήνα, 1994, σελ 25.
21. Ζάνης Π., Καψομενάκης Ι., Φίλανδρας Χ., Δούβης Κ., Νικολάκης Δ., Κανελλοπούλου Ε., Ζερεφός Χ., Ρεπάπης Χ., (2008), 'Analysis of an ensemble of present day and future regional climate simulations for Greece', τμήμα Κλιματολογίας – Μετεωρολογίας, ΑΠΘ, Θεσσαλονίκη.
22. Κίνγκ Ροβέρτος, (2004), '*Ευφυής Έλεγχος*', Εκδόσεις Τζιόλα, Θεσσαλονίκη

Ξένη Βιβλιογραφία

1. <http://ec.europa.eu>
2. <http://el.wikipedia.org>
3. Dickinson R., Errico R., Giorgi F., Bates G., (1989), 'A regional climate model for the Western USA', Climatic change.
4. Giorgi, F. (1995), 'Perspectives for regional earth system modeling', Global and planetary change, vol.10 .
5. Denman K.L., G. Brasseur A., Chidthaisong P., Ciais P.M., Cox R.E., Dickinson R., (2007), 'Couplings between changes in the climate system and biogeochemistry', Climate change 2007, Cambridge University press, UK.
6. Mearns L. O., Giorgi F., Whetton P., Pabon D., Hulme M., Lal M., (2001), 'Climate scenario development', in IPCC, 2001: The scientific basis. CUP, UK.
7. Prudence Description of work (2001), DKMI, Denmark
8. Prudence Final report (2005), DKMI, Denmark
9. Durman C.F., Gregory J.M., Hassell D., Jones R., Murphy M., (2000), 'A comparison of extreme European daily precipitation simulated by a global and climate model for present and future climates', Hadley Centre, UK.
10. Pope, V.D., Gallani, M.L., Rowntree, P.R. and Stratton, R.A. 2000. The impact of new physical parametrizations in the Hadley Centre climate model: HadAM3. *Climate Dynamics*, 16: 123-146.
11. Gordon, C., Cooper, C., Senior, C.A., Banks, H., Gregory, J.M., Johns, T.C., Mitchell, J.F.B., and Wood, R.A. (2000). "The simulation of SST, sea ice extents and ocean heat transports in a version of the Hadley Centre coupled model without flux adjustments". *Climate Dynamics* 16 (2–3): 147–168

12. Roeckner E., Arpe K., Bengtsson L., Christoph M., Claussen M., Dumenil L., Esch M., Giorgetta M., Schlese U., Schulzweida U., (1996), 'The atmospheric general circulation model ECHAM4: Model description and simulation of present day', Max Plank Institute, Hamburg.
13. Roeckner E., Esch M., Giorgetta M., Schlese U., Schulzweida U., Bauml G., Bonaventura M., Brokopf R., Manzini E., Hagemann S., Rhodin A., (2003), 'The atmospheric general circulation model ECHAM5: Model description and simulation ', Max Plank Institute, Hamburg
14. Christensen J., Christensen O., Lopez P., (1996), 'The HIRHAM4, Regional atmospheric climate model', DMI, Copenhagen, Denmark.
15. Jacob D., Podzun R.,(1996), 'Sensitivity studies with the regional climate model REMO', Max Plank Insistute for meteorology, Hamburg, Germany.
16. Doscher R., Willen U., Jones C., (2002), 'The development of the regional coupled ocean-atmoshere model RCAO', Rossby Centre, Sweden.
17. Rummukainen M., Raisanen J., Bringfelt B., Ullerstig A., Omstedt A., Willen U., Hansson U., Jones C., (2001), 'A regional climate model for northern Europe: model descriptions and results of the downscaling of two GCM control simulations', Clim.Dyn. 17
18. Meier H.E.M. , (2002), 'Regional ocean climate simulations with a 3D ice-ocean model for the Baltic Sea : Part1:Model experiments and results for temperature and salinity. Clim.Dyn.18.
19. Terray L., Valcke S., (1999), 'Ocean atmosphere sea ice soil users guide' , CERFACS TR/ CGMC, France.
20. Valcke S., Terray L.,(2000), 'Ocean atmosphere sea ice soil users guide: Technical report', Toulouse, France.
21. Zimmermann, H.Z. (1996), 'Fuzzy set theory and its applications', Kluwer Academic Publishers.

22. Jain, L C, Jain, R K, Kai, Michels-Frank, Klawonn, Rudolf and Nörnberger, Kruse-Andreas, *Hybrid Intelligent Engineering Systems, Fuzzy Control*, Pub. Springer, 1997
23. Javier G. Corripio ,(2000), ‘An open source IDL script to transform Geographical longitude and latitude to coordinates of rotated grids for visualization and data extraction of Climatic Model outputs using GRADS or FERRET’ , DMI, Denmark.
24. Fuzzy Logic Toolbox User’s Guide Version 2010RB, The Mathworks, 2010

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ

Πίνακας 1. Ετήσια βροχόπτωση περιόδου 1960-1990 του RCAO και του μετεωρολογικού σταθμού

Ετήσια βροχόπτωση περιόδου 1960-1990		
Έτος	Μετ. σταθμός (mm)	RCAO (mm)
1960	540,5	186,937146
1961	354,3	288,500004
1962	589,5	414,891213
1963	481,2	300,2341539
1964	396,9	325,937511
1965	299,2	564,1561401
1966	371,7	387,070392
1967	407,3	402,851769
1968	350,9	339,2733065
1969	318,7	285,2735292
1970	211,3	455,703291
1971	407,8	197,312544
1972	550,6	545,3751489
1973	443,5	253,5233211
1974	239	334,87518
1975	441,7	399,898641
1976	470,3	442,507617
1977	247,5	268,492362
1978	613,7	410,7655299
1979	507,8	352,9686489
1980	425,6	462,445239
1981	391,8	430,70337
1982	704,3	499,796766
1983	440,8	232,960741
1984	376,2	218,4531399
1985	351,2	300,515904
1986	397	388,140591
1987	489,2	433,19535
1988	402,2	219,6484791
1989	322,8	566,2734021

Πίνακας 2α. Τιμές μηνιαίας βροχόπτωσης RCAO περιόδου 1960-1990

		Μηνιαίες βροχοπτώσεις στην περιοχή της Κάρλας σε mm												μηνιαία επεξεργασία																						
		RCAO																																		
		1960	1961	1962	1963	1964	1965	1966	1967	1968	1969	1970	1971	1972	1973	1974	1975	1976	1977	1978	1979	1980	1981	1982	1983	1984	1985	1986	1987	1988	1989	min	max	ave		
IAN		38,0	130,2	27,4	31,1	103,8	49,3	118,2	24,0	30,8	23,6	70,8	58,4	64,5	35,8	53,1	32,8	65,3	57,7	49,9	14,2	41,1	55,5	57,2	33,9	44,4	49,3	21,1	14,4	14,7	90,0	14,2	130,2	50,0		
ΦΕΒ		6,1	6,1	44,5	11,8	38,6	23,6	65,6	59,2	91,0	17,0	118,2	15,4	110,2	14,4	32,2	28,8	96,3	43,5	27,8	8,2	45,3	114,3	126,3	36,0	24,2	31,2	13,6	41,4	17,4	20,4	6,1	126,3	44,3		
ΜΑΡ		2,3	6,4	4,0	24,6	65,1	69,2	8,1	50,9	5,2	45,3	60,4	7,1	91,6	40,8	47,0	39,0	100,2	27,7	14,0	19,1	15,1	38,3	43,4	15,9	31,1	13,6	21,1	25,3	55,9	108,4	2,3	108,4	36,5		
ΑΠΡ		1,8	17,0	29,7	12,0	14,0	30,0	24,2	14,6	26,0	46,0	3,9	11,6	33,9	26,7	13,6	45,8	33,3	30,9	14,8	80,8	36,1	4,7	22,6	19,7	20,7	39,0	32,0	131,0	9,4	70,1	1,8	131,0	29,9		
ΜΑΪ		39,5	6,7	29,2	45,5	27,6	17,0	2,2	3,5	15,3	25,5	48,0	5,5	0,7	1,5	24,6	15,9	25,9	6,8	14,2	16,2	33,7	36,9	2,6	9,7	4,4	4,7	21,9	12,4	7,1	38,1	0,7	48,0	18,1		
ΙΟΥΝ		1,1	5,9	14,5	3,5	13,6	0,3	5,9	1,0	9,4	2,5	1,9	4,9	13,8	4,0	6,3	92,9	1,2	3,1	0,2	0,1	0,6	9,3	3,1	8,0	0,2	0,4	2,9	9,8	9,2	2,8	0,1	92,9	7,8		
ΙΟΥΛ		4,0	1,0	0,3	1,4	0,7	1,2	0,4	0,0	0,0	0,2	1,1	1,7	0,3	0,0	0,0	3,6	0,0	0,7	0,0	0,1	9,6	8,6	4,8	0,0	12,1	0,6	0,0	6,8	0,2	0,0	0,0	12,1	2,0		
ΑΥΓ		0,0	2,3	2,2	0,1	11,1	7,2	6,1	0,6	0,0	0,1	0,5	1,4	1,7	2,8	4,2	3,0	2,1	1,9	7,0	0,4	8,8	3,0	3,3	0,9	0,0	2,7	24,1	0,0	0,6	11,1	0,0	24,1	3,6		
ΣΕΠ		8,2	2,8	38,8	5,7	4,7	58,7	0,4	7,8	2,3	10,7	46,6	7,9	4,5	51,4	12,5	4,0	6,8	3,8	3,3	3,3	49,1	28,1	9,8	6,4	4,8	3,8	7,2	17,1	2,7	13,4	0,4	58,7	14,2		
ΟΚΤ		3,3	57,3	52,4	26,6	2,2	88,1	36,3	12,3	29,1	35,4	18,3	12,5	81,3	16,1	9,4	65,5	22,2	7,2	120,3	74,5	36,7	61,2	137,4	8,7	7,0	44,2	122,9	66,2	49,0	68,4	2,2	137,4	45,7		
ΝΟΕ		47,3	26,5	54,9	68,3	13,2	97,7	93,2	186,8	95,9	57,4	40,3	36,6	118,3	38,0	31,1	39,3	15,6	57,2	142,5	75,4	133,7	27,1	70,0	44,3	15,4	87,9	70,4	79,2	45,4	114,8	13,2	186,8	67,4		
ΔΕΚ		35,4	26,4	117,1	69,6	31,4	121,9	26,7	42,1	34,3	21,5	45,7	34,3	24,5	22,0	100,8	29,4	73,7	28,1	16,8	60,8	52,6	43,8	19,4	49,4	54,0	23,2	50,9	29,7	7,9	28,7	7,9	121,9	44,1		
		ετήσια επεξεργασία																																		
min		0,0	1,0	0,3	0,1	0,7	0,3	0,4	0,0	0,0	0,1	0,5	1,4	0,3	0,0	0,0	3,0	0,0	0,7	0,0	0,1	0,6	3,0	2,6	0,0	0,0	0,4	0,0	0,0	0,2	0,0					
max		47,3	130,2	117,1	69,6	103,8	121,9	118,2	186,8	95,9	57,4	118,2	58,4	118,3	51,4	100,8	92,9	100,2	57,7	142,5	80,8	133,7	114,3	137,4	49,4	54,0	87,9	122,9	131,0	55,9	114,8					
ave		15,6	24,0	34,6	25,0	27,2	47,0	32,3	33,6	28,3	23,8	38,0	16,4	45,4	21,1	27,9	33,3	36,9	22,4	34,2	29,4	38,5	35,9	41,6	19,4	18,2	25,0	32,3	36,1	18,3	47,2					
sum ετήσιο		186,9	288,5	414,9	300,2	325,9	564,2	387,1	402,9	339,3	285,3	455,7	197,3	545,4	253,5	334,9	399,9	442,5	268,5	410,8	353,0	462,4	430,7	499,8	233,0	218,5	300,5	388,1	433,2	219,6	566,3					
sum 30 ετών		10908,7																																		

Πίνακας 2β. Τιμές μηνιαίας βροχόπτωσης μετ. σταθμού περιόδου 1960-1990

ΕΤΟΣ	ΙΑΝ	ΦΕΒ	ΜΑΡ	ΑΠΡ	ΜΑΪ	ΙΟΥΝ	ΙΟΥΛ	Μηνιαίες βροχοπτώσεις στην περιοχή της Κάρλας σε mm				ΔΕΚ	Μ.Ο.	ΜΑΧ	συνολική βροχόπτωση ετους	
								ΑΥΓ	ΣΕΠ	ΟΚΤ	ΝΟΕ					
1960	30,6	35,3	54,3	31	85,7	31,9	0,3	12,5	74,9	13,9	14,1	156	0,3	45,04167	156	540,5
1961	41,6	12,2	62,9	16,3	36,2	19,8	16	6,9	2,2	37,9	46,8	55,5	2,2	29,525	62,9	354,3
1962	17,6	40,8	34,2	12,3	27	1,2	13,6	0	139,6	98,1	103,8	101,3	0	49,125	139,6	589,5
1963	46,8	51,2	41,4	23,7	44,2	25,4	11,7	17,7	4,5	94,1	49,6	70,9	4,5	40,1	94,1	481,2
1964	25,9	12,6	74	9,6	58,6	62	16,1	0	26	23	29,4	59,7	0	33,075	74	396,9
1965	36,9	41	29,3	26,5	17,2	50,2	38,5	0	0	0,5	37,1	22	0	24,93333	50,2	299,2
1966	38,3	8,5	12,9	12,4	8,4	45,3	3	7,5	20,3	40,6	103,5	71	3	30,975	103,5	371,7
1967	18,5	11,5	12	42,7	67,4	3	38,5	19,5	101	31	24	38,2	3	33,94167	101	407,3
1968	28,8	24,1	14,8	14,7	89,6	10	1	5,5	17	36	40,5	68,9	1	29,24167	89,6	350,9
1969	46,6	33,7	66,4	2	0,6	4	0	0	35,1	0	23,7	106,6	0	26,55833	106,6	318,7
1970	27	51,2	21,1	2,4	28,6	27,6	7	0,2	5,9	4,2	2,2	33,9	0,2	17,60833	51,2	211,3
1971	14,9	60,5	57	15,3	42	18,8	59,1	13,9	30,9	49,3	10,6	35,5	10,6	33,98333	60,5	407,8
1972	19,7	72	48,4	75,8	46,8	20,5	131,8	21,1	12,9	92,8	3,5	5,3	3,5	45,88333	131,8	550,6
1973	79	36,7	54,8	12,1	4,2	2,2	22,8	7,8	53,7	74,4	42,2	53,6	2,2	36,95833	79	443,5
1974	30,71	0	0	0	23,5	50,1	2	0,8	13	34,3	64	51,3	0	22,47583	64	269,71
1975	5,8	35,5	23,2	22,1	26,7	106	0,3	55,1	37,6	27,6	53,6	48,2	0,3	36,80833	106	441,7
1976	22,1	58,3	30,8	57,9	84,7	7,3	38,3	46,3	15,8	23,4	73,7	11,7	7,3	39,19167	84,7	470,3
1977	11,5	47,4	24,8	17,2	23,4	15,6	9,6	3,4	28,4	9,2	26,4	30,6	3,4	20,625	47,4	247,5
1978	66	26,7	48,2	49,9	31,8	8,2	0	0,6	240,5	60,3	26,1	55,4	0	51,14167	240,5	613,7
1979	49,6	44,8	16,1	37,5	55,8	2,8	2,3	7,4	19,9	74,5	154,1	43	2,3	42,31667	154,1	507,8
1980	61,8	11,5	46,9	29,1	44,5	17,2	0	9,1	15,4	90,4	56,6	43,1	0	35,46667	90,4	425,6
1981	75,7	30,1	8,9	26,8	30,6	9,5	8,6	18,9	10,4	75	57,7	39,6	8,6	32,65	75,7	391,8
1982	9	121,9	36	122,8	128,8	26,4	13,6	40,9	7,3	74,8	92,2	30,6	7,3	58,69167	128,8	704,3
1983	5,8	29,8	9,9	11,8	22,1	51,5	77,1	11,4	3,2	21,2	40,5	156,5	3,2	36,73333	156,5	440,8
1984	26,6	26,7	42,8	74,9	13,1	17,8	2,2	53,8	6	26,9	54,7	30,7	2,2	31,35	74,9	376,2
1985	30,2	9,9	54,8	13,6	11,4	9,6	2,8	0	2,2	47,8	154	14,9	0	29,26667	154	351,2
1986	17,4	68,5	29,7	4,8	23,2	40,2	7,2	10,2	8	116,8	62,8	8,2	4,8	33,08333	116,8	397
1987	28	42,5	116,4	74,7	33,4	1,9	2,4	10	7	60,9	76,2	35,8	1,9	40,76667	116,4	489,2
1988	37,8	26,2	25,9	30,4	6,9	9	0,9	1,6	9,8	34,2	122,6	96,9	0,9	33,51667	122,6	402,2
1989	1,8	5,4	34,9	11	29,4	35	31,5	29,9	2,3	22,4	43,1	76,1	1,8	26,9	76,1	322,8
					μηνιαία επεξεργασία											
Μ.Ο.	31,73367	35,88333	37,76	29,37667	38,19333	24,33333	18,60667	13,73333	31,69333	46,51667	56,31	55,03333			sum 30 et	12575,21
MAX	79	121,9	116,4	122,8	128,8	106	131,8	55,1	240,5	116,8	154,1	156,5				
MIN	1,8	0	0	0	0,6	1,2	0	0	0	0	2,2	5,3				

Πίνακας 3. Τιμές μηνιαίας βροχόπτωσης RAO μετά από την επεξεργασία περιόδου 2070-2100

	Διορθωμένες τιμές μελλοντικές RAO												
	τιμές γενάρη	τιμές φλεβάρη	τιμές Μαρτίου	τιμές Απριλίου	τιμές Μαΐου	τιμές Ιουνίου	τιμές Ιουλίου	τιμές Αυγούστου	τιμές Σεπτεμβρίου	τιμές Οκτωβρίου	τιμές Νοεμβρίου	τιμές Δεκεμβρίου	
2070	4,18	9,63	105,63	17,45	0,00	47,07	11,50	0,00	0,50	85,39	21,95	49,88	
2071	8,82	27,33	14,87	7,21	0,00	0,12	0,00	0,00	1,02	28,80	117,86	19,06	
2072	7,35	11,68	23,70	20,44	98,00	2,29	0,00	0,00	18,27	17,53	26,29	44,03	
2073	6,01	2,88	24,73	25,46	7,39	16,95	1,53	0,00	52,91	41,65	61,08	53,71	
2074	12,54	42,37	62,26	3,17	33,34	40,39	0,13	0,00	0,31	1,37	15,32	10,42	
2075	7,75	21,67	12,70	61,55	144,91	5,93	7,03	0,00	7,81	3,35	25,28	58,89	
2076	14,76	8,07	22,84	16,75	115,87	0,00	0,00	0,00	0,03	26,12	73,12	21,89	
2077	7,41	14,20	58,52	72,73	248,14	25,33	6,14	13,08	0,19	24,37	29,46	98,09	
2078	9,03	43,68	50,93	32,22	48,51	3,94	0,45	3,73	7,45	36,48	50,35	82,32	
2079	11,02	33,00	21,43	9,21	94,83	2,68	0,13	0,80	4,79	8,11	94,73	69,58	
2080	10,79	19,84	0,17	10,33	39,36	8,40	0,00	15,30	9,20	42,75	43,57	70,31	
2081	21,92	39,02	11,81	5,37	173,00	42,95	0,00	0,40	11,43	27,31	28,03	24,31	
2082	98,74	98,10	43,62	58,70	6,61	0,00	4,35	16,91	70,82	4,91	58,98	14,29	
2083	6,97	13,28	9,13	1,86	80,55	13,19	1,15	0,73	25,96	8,55	16,92	34,00	
2084	3,62	12,78	5,37	44,91	3,18	6,66	2,81	1,27	109,47	9,40	12,28	61,66	
2085	11,48	49,50	100,73	10,42	7,30	1,10	0,00	0,00	47,62	9,68	98,34	13,29	
2086	6,61	17,22	26,58	34,09	22,13	5,68	0,00	0,00	8,81	49,60	7,80	15,97	
2087	8,15	31,63	18,10	61,66	14,84	0,08	0,00	0,07	2,21	33,79	79,29	37,25	
2088	5,62	10,47	38,33	28,71	73,51	33,04	0,00	0,00	14,18	11,30	38,05	39,58	
2089	24,56	57,83	35,87	2,16	32,06	20,09	0,00	0,00	140,43	71,08	14,20	18,97	
2090	10,09	8,71	62,15	1,94	9,20	0,08	0,00	0,00	0,76	7,99	11,39	7,87	
2091	7,47	10,42	16,78	28,39	8,98	19,83	1,02	2,20	35,69	103,88	33,30	17,21	
2092	5,11	26,67	37,85	26,92	75,78	12,18	0,00	0,00	26,51	82,89	63,61	70,01	
2093	10,39	7,88	44,52	16,22	7,36	1,85	0,00	0,00	31,18	38,79	76,76	4,89	
2094	38,17	13,32	20,86	26,68	74,35	5,60	0,00	31,62	33,49	35,22	32,52	51,48	
2095	32,83	17,37	56,21	37,13	143,50	0,00	0,00	0,07	11,82	1,34	14,54	43,32	
2096	31,79	12,83	15,21	22,60	16,72	8,30	0,00	16,28	18,46	104,86	40,79	97,83	
2097	12,66	53,80	3,59	7,39	32,08	2,84	0,00	0,00	12,98	60,63	90,25	172,01	
2098	26,35	30,46	3,48	7,14	10,05	0,61	0,00	47,89	18,48	99,83	15,35	51,40	
2099	11,47	23,18	45,14	8,72	1,98	0,00	0,00	13,97	5,51	90,34	63,02	56,89	
	473,64	768,79	993,09	707,55	1623,53	327,19	36,25	164,32	728,25	1167,30	1354,44	1410,38	
sum	9754,73												

Πίνακας 4. Τιμές μηνιαίας βροχόπτωσης RCAO περιόδου 2070-2100

	τιμές μελλοντικές RCAO		τιμές Μαρτίου	τιμές Απριλίου	τιμές Μαΐου	τιμές Ιουνίου	τιμές Ιουλίου	τιμές Αυγούστου	τιμές Σεπτεμβρίου	τιμές Οκτωβρίου	τιμές Νοεμβρίου	τιμές Δεκεμβρίου
	τιμές γενάρη	τιμές φεβραρή	τιμές Μαρτίου	τιμές Απριλίου	τιμές Μαΐου	τιμές Ιουνίου	τιμές Ιουλίου	τιμές Αυγούστου	τιμές Σεπτεμβρίου	τιμές Οκτωβρίου	τιμές Νοεμβρίου	τιμές Δεκεμβρίου
2070	6,46	12,85	118,69	16,70	15,44	18,12	1,41	0,98	0,23	83,72	28,17	45,97
2071	13,63	36,48	16,71	6,90	0,92	0,05	0,00	0,00	0,46	28,18	151,31	17,56
2072	11,36	15,59	26,63	19,56	43,31	0,88	0,00	0,00	8,28	17,16	33,74	40,58
2073	9,29	3,84	27,79	24,37	3,23	6,52	0,19	0,00	23,98	40,76	78,41	49,50
2074	19,38	56,57	69,95	3,03	14,59	15,55	0,02	0,00	0,14	1,34	19,67	9,60
2075	11,98	28,94	14,27	58,90	63,39	2,28	0,86	0,00	3,54	3,27	32,45	54,27
2076	22,81	10,77	25,66	16,03	50,69	0,00	0,00	0,00	0,02	25,55	93,87	20,17
2077	11,46	18,95	65,75	69,60	108,55	9,75	0,75	3,06	0,09	23,84	37,82	90,41
2078	13,95	58,31	57,23	30,84	21,22	1,52	0,05	0,88	3,38	35,70	64,63	75,88
2079	17,04	44,06	24,08	8,81	41,48	1,03	0,02	0,19	2,17	7,94	121,61	64,13
2080	16,68	26,48	0,19	9,88	17,22	3,23	0,00	3,59	4,17	41,83	55,93	64,80
2081	33,87	52,09	13,27	5,14	75,68	16,53	0,00	0,09	5,18	26,72	35,98	22,41
2082	152,61	130,97	49,01	56,17	2,89	0,00	0,53	3,96	32,10	4,80	75,71	13,17
2083	10,77	17,73	10,26	1,78	35,23	5,08	0,14	0,17	11,77	8,37	21,72	31,34
2084	5,59	17,06	6,04	42,98	1,39	2,56	0,34	0,30	49,63	9,20	15,76	56,83
2085	17,74	66,09	113,18	9,97	3,20	0,42	0,00	0,00	21,59	9,47	126,23	12,25
2086	10,21	22,98	29,87	32,63	9,68	2,19	0,00	0,00	3,99	48,53	10,02	14,72
2087	12,60	42,23	20,34	59,00	6,49	0,03	0,00	0,02	1,00	33,06	101,78	34,34
2088	8,69	13,98	43,06	27,48	32,16	12,72	0,00	0,00	6,43	11,05	48,84	36,48
2089	37,95	77,20	40,30	2,07	14,02	7,73	0,00	0,00	63,66	69,55	18,23	17,48
2090	15,59	11,63	69,83	1,86	4,02	0,03	0,00	0,00	0,34	7,82	14,62	7,25
2091	11,54	13,91	18,85	27,17	3,93	7,63	0,13	0,52	16,18	101,64	42,75	15,86
2092	7,90	35,60	42,53	25,76	33,15	4,69	0,00	0,00	12,02	81,11	81,66	64,52
2093	16,05	10,52	50,02	15,52	3,22	0,71	0,00	0,00	14,13	37,95	98,54	4,51
2094	58,99	17,78	23,44	25,53	32,52	2,16	0,00	7,41	15,18	34,46	41,75	47,45
2095	50,74	23,19	63,16	35,53	62,77	0,00	0,00	0,02	5,36	1,31	18,66	39,92
2096	49,13	17,12	17,09	21,62	7,31	3,20	0,00	3,81	8,37	102,60	52,37	90,16
2097	19,57	71,83	4,03	7,07	14,03	1,09	0,00	0,00	5,88	59,33	115,86	158,53
2098	40,72	40,67	3,91	6,84	4,40	0,23	0,00	11,22	8,38	97,68	19,70	47,38
2099	17,73	30,95	50,72	8,34	0,87	0,00	0,00	3,27	2,50	88,39	80,90	52,43

Πίνακας 5α. Τιμές μηνιαίας απορροής τιμών RCAO περιόδου 2070-2100

απορροή	τιμές γενάρη	τιμές φάεβαρη	τιμές Μαρτίου	τιμές Απριλίου	τιμές Μαΐου	τιμές Ιουνίου	τιμές Ιουλίου	τιμές Αυγούστου	τιμές Σεπτεμβρίου	τιμές Οκτωβρίου	τιμές Νοεμβρίου	τιμές Δεκεμβρίου
2070	529357,0	1052799,0	9722880,0	1368320,4	1264639,2	1484159,4	115200,0	80000,0	18560,0	6858252,3	2307838,8	3765755,9
2071	1116290,7	2988810,2	1368959,4	565120,2	75520,1	3840,0	0,0	0,0	37760,0	2308480,2	12395520,0	1438720,8
2072	930311,4	1277440,8	2181120,0	1602559,2	3548160,0	72320,0	0,0	0,0	678400,8	1405440,0	2764161,0	3324149,8
2073	760899,4	314880,0	2276479,8	1996161,0	264961,2	534400,2	15360,0	0,0	1964799,6	3338870,8	6423674,9	4055040,0
2074	1587659,1	4634247,2	5730558,0	248320,8	1194880,2	1273599,6	1280,0	0,0	11520,0	110080,1	1611519,6	786559,8
2075	981673,8	2370559,2	1168640,4	4824956,9	5192958,0	186880,1	70399,9	0,0	289920,6	268161,0	2658558,0	4446068,7
2076	1868493,0	882561,0	2102400,6	1313280,0	4152311,8	0,0	0,0	0,0	1280,0	2093440,2	7689609,2	1652480,4
2077	938595,1	1552640,4	5386248,2	5701754,9	8892162,0	798720,0	61440,0	250879,2	7040,0	1953280,8	3098247,2	7406075,9
2078	1142800,5	4776960,0	4687994,9	2526068,7	1738240,8	124159,9	4480,0	71680,1	276480,0	2924150,8	5294727,2	6215688,2
2079	1395880,7	3609600,0	1972479,6	721920,0	3398393,9	84480,0	1280,0	15360,0	177919,9	650239,2	9962250,2	5253759,0
2080	1366472,9	2169598,8	15360,0	809599,8	1410559,2	264961,2	0,0	294400,8	341758,8	3426558,0	4581752,8	5308809,2
2081	2774777,4	4267524,1	1086718,8	421119,6	6199689,2	1354240,8	0,0	7680,0	424319,4	2188800,0	2947842,0	1835520,0
2082	12501632,5	10728947,7	4014710,8	4601610,2	236800,1	0,0	43519,9	324479,4	2629754,9	393599,4	6202245,1	1079041,2
2083	882263,8	1452800,4	840319,8	145920,0	2886402,0	416000,4	11520,0	14080,0	963841,2	685439,4	1779199,2	2567036,9
2084	458114,3	1397760,0	494719,8	3520634,9	113920,1	209920,1	28159,9	24320,0	4065288,2	753279,0	1290879,0	4655358,0
2085	1453042,2	5414387,7	9271689,2	816640,8	261759,0	34560,0	0,0	0,0	1768319,4	775680,0	10341113,9	1003519,2
2086	836700,7	1882880,4	2446720,2	2672640,0	792959,4	179200,1	0,0	0,0	327040,2	3975684,1	820479,6	1205760,0
2087	1032205,8	3459833,9	1665921,0	4833288,2	531839,4	2560,0	0,0	1280,0	81919,9	2708471,8	8337924,1	2812796,9
2088	712023,2	1145600,4	3527688,2	2250879,0	2634227,7	1041919,2	0,0	0,0	526720,2	905601,0	4001267,7	2988171,3
2089	3109049,2	6324486,1	3301761,0	169600,0	1148800,2	633598,8	0,0	0,0	5214732,3	5697282,0	1493119,8	1432318,8
2090	1277417,5	952320,0	5720309,8	152320,1	329601,0	2560,0	0,0	0,0	28159,9	640639,8	1197441,0	593920,8
2091	945222,9	1139200,8	1544319,0	2225919,6	321921,0	625279,8	10240,0	42240,0	1325440,2	8326398,0	3502080,0	1299200,4
2092	647406,7	2916483,1	3484164,1	2110080,6	2715525,1	384000,0	0,0	0,0	984320,4	6644490,2	6689267,7	5285756,9
2093	1315110,5	862079,4	4097925,1	1271680,2	263680,8	58240,0	0,0	0,0	1157760,6	3109109,8	8072331,3	369279,0
2094	4832562,7	1456639,2	1920000,0	2091520,8	2664308,7	176640,0	0,0	606720,0	1243521,0	2823045,1	3420168,2	3886719,0
2095	4156988,8	1899520,8	5173764,1	2910732,3	5142405,1	0,0	0,0	1280,0	439040,4	107520,0	1528959,0	3270402,0
2096	4024861,1	1402879,2	1399679,4	1771519,2	599040,0	261759,0	0,0	312319,2	685439,4	8405114,9	4289912,8	7386243,1
2097	1603394,5	5884158,0	330240,0	579199,8	1149439,2	89599,9	0,0	0,0	481920,6	4860149,8	9491202,0	12986892,3
2098	3336037,9	3331842,0	319999,2	560001,0	360321,0	19200,0	0,0	919039,2	666080,8	8001921,0	1614080,4	3880968,2
2099	1452627,1	2355039,0	4154867,7	683520,0	71040,1	0,0	0,0	268161,0	204799,9	7240949,8	6627188,7	4295049,2

Πίνακας 5β. Τιμές μηνιαίας άμεσης εισροής λόγω βροχόπτωσης τιμών RCAO περιόδου 2070-2100

αμεση εισροη	τιμες γενναρη	τιμες φλεβαρη	τιμες Μαρτιου	τιμες Απριλίου	τιμες Μαΐου	τιμες Ιουνίου	τιμες Ιουλίου	τιμες Αυγούστου	τιμες Σεπτεμβρίου	τιμες Οκτωβρίου	τιμες Νοεμβρίου	τιμες Δεκεμβρίου
2070	245551,4	488358,9	4510125,0	634718,9	586624,6	688452,8	53437,5	37109,4	8609,4	3181318,2	1070530,7	1746810,6
2071	517810,6	1386411,0	635015,3	262140,7	35031,3	1781,3	0,0	0,0	17515,6	1070828,2	5749875,0	667375,4
2072	431540,9	592562,9	1011750,0	743374,6	1645875,0	33546,9	0,0	0,0	314687,9	651937,5	1282203,6	1541964,0
2073	352956,3	146062,5	1055984,3	925953,6	122906,8	247890,7	7125,0	0,0	911406,1	1548792,6	2979732,0	1881000,0
2074	736463,0	2149675,2	2658217,8	115187,9	554265,7	590781,1	593,7	0,0	5343,8	51062,5	747531,1	364859,3
2075	455366,2	1099624,6	542093,9	238139,2	2408842,8	86687,5	32656,2	0,0	134484,7	124391,1	1233217,8	2062385,4
2076	866732,6	409391,1	975234,7	609187,5	1926121,2	0,0	0,0	0,0	593,7	971078,2	3566957,4	766531,4
2077	435383,5	720218,9	2498503,8	2644857,0	4124782,2	370500,0	28500,0	116374,6	3265,6	906062,9	1437175,2	3435435,6
2078	530107,7	2215875,0	2174607,0	1171760,4	806312,9	57593,7	2078,1	33250,0	128250,0	1356417,6	2456050,2	2883253,8
2079	647503,3	1674375,0	914968,6	334875,0	1576403,4	39187,5	593,7	7125,0	82531,2	301624,6	4621161,0	2437046,4
2080	633861,9	1006405,7	7125,0	375546,8	654312,1	122906,8	0,0	136562,9	158530,7	1589467,8	2125324,8	2462582,4
2081	1287128,2	1979564,4	504093,2	195343,6	2875832,4	628187,9	0,0	3562,5	196827,8	1015312,5	1367407,2	851437,5
2082	5799097,1	4976806,8	1862292,6	2134536,0	109843,8	0,0	20187,5	150515,3	1219857,0	182577,8	2877018,0	500531,8
2083	409253,2	673906,4	389796,8	67687,5	1338907,2	192968,9	5343,8	6531,3	447094,3	317952,8	825312,1	1190764,2
2084	212504,2	648375,0	229484,3	1633107,0	52843,8	97375,0	13062,5	11281,2	1885753,8	349421,4	598796,4	2159467,8
2085	674018,6	2511556,8	4300832,4	378812,9	121421,4	16031,3	0,0	0,0	820265,3	359812,5	4796903,4	465499,6
2086	388118,0	873406,4	1134953,2	1239750,0	367827,8	83125,0	0,0	0,0	151703,2	1844189,4	380593,6	559312,5
2087	478806,4	1604903,4	772766,1	2242003,8	246702,8	1187,5	0,0	593,7	38000,0	1256371,2	3867689,4	1304764,2
2088	330284,2	531406,4	1636378,8	1044108,9	1221931,8	483312,1	0,0	0,0	244328,2	420078,6	1856056,8	1386114,6
2089	1442185,9	2933721,6	1531578,6	78671,9	532890,7	293905,7	0,0	0,0	2418943,2	2642782,2	692609,3	664405,7
2090	592552,1	441750,0	2653464,0	70656,3	152891,1	1187,5	0,0	0,0	13062,5	297171,8	555453,6	275500,4
2091	438457,9	528437,9	716358,9	1032531,1	149328,6	290046,8	4750,0	19593,8	614828,2	3862342,8	1624500,0	602656,4
2092	300310,7	1352860,8	1616189,4	978797,2	1259643,0	178125,0	0,0	0,0	456593,9	3082161,0	3102931,8	2451889,2
2093	610036,6	399890,3	1900893,0	589890,7	122312,9	27015,6	0,0	0,0	537047,2	1442214,0	3744489,6	171296,4
2094	2241667,3	675687,1	890625,0	970187,9	1235885,4	81937,5	0,0	281437,5	576828,6	1309518,0	1586503,8	1802921,4
2095	1928290,7	881125,4	2399939,4	1350193,2	2385399,0	0,0	0,0	593,7	203656,4	49875,0	709233,9	1517032,2
2096	1867001,0	650749,6	649265,3	821749,6	277875,0	121421,4	0,0	144874,6	317952,8	3898857,0	1989949,8	3426235,8
2097	743762,1	2729467,8	153187,5	268671,8	533187,1	41562,5	0,0	0,0	223547,2	2254464,0	4402657,2	6024193,2
2098	1547478,5	1545532,2	148437,1	259766,1	167141,1	8906,3	0,0	426312,1	318250,4	3711828,6	748718,9	1800253,8
2099	673826,0	1175921,4	1927306,8	317062,5	32953,2	0,0	0,0	124391,1	95000,0	3358839,0	3074135,4	1992332,4

Πίνακας 6α. Τιμές μηνιαίας απορροής διορθωμένων τιμών RCAO περιόδου 2070-2100

απορροή	τιμές Γενάρη	τιμές Φεβραρίη	τιμές Μαρτίου	τιμές Απριλίου	τιμές Μαΐου	τιμές Ιουνίου	τιμές Ιουλίου	τιμές Αυγούστου	τιμές Σεπτεμβρίου	τιμές Οκτωβρίου	τιμές Νοεμβρίου	τιμές Δεκεμβρίου
2070	342494,0	779305,7	8551956,6	1413138,2	0,0	3810660,4	931293,0	0,0	40353,5	6913439,8	1776738,4	4037964,2
2071	722240,1	2212385,1	1204096,0	583630,1	0,0	9859,4	0,0	0,0	8322,5	2331619,1	9541945,6	1542719,0
2072	601911,5	945590,6	1918448,4	1655049,3	7934080,0	185685,7	0,0	0,0	1479014,5	1419527,3	2128047,7	3564436,4
2073	492301,9	233081,3	2002324,0	2061543,1	598603,3	1372101,8	124263,5	0,0	4283554,8	3372337,7	4945401,6	4348159,2
2074	1027215,5	3430374,7	5040428,6	256454,3	2699486,4	3270036,6	10355,3	0,0	25115,3	111183,5	1240662,3	843416,4
2075	635142,9	1754741,6	1027901,4	4982993,1	11731987,4	479824,8	569540,3	0,0	632070,0	270848,9	2046746,9	4767453,5
2076	1208914,9	653291,7	1849209,2	1356295,1	9380948,3	0,0	0,0	0,0	2790,6	2114423,7	5920007,9	1771930,2
2077	607271,0	1149299,6	4737584,0	588509,6	20089269,8	2050757,3	497053,9	1058956,8	15348,2	1972859,4	2385250,9	7941425,3
2078	739391,9	3536014,0	4123421,1	2608807,4	3927052,7	318787,4	36243,6	301980,8	602767,4	2953460,8	4076257,4	6664990,2
2079	903134,8	2671907,7	1734934,5	745565,7	7677688,6	216907,0	10355,3	64768,0	387891,8	656756,8	7669648,5	5633527,8
2080	884107,9	1605986,2	13510,2	836117,4	3186750,7	680302,4	0,0	1238688,0	745084,9	3460903,8	3527359,1	5692557,3
2081	1795281,0	3158918,0	955845,6	434912,9	14006405,7	3477087,4	0,0	32401,7	925079,2	2210739,3	2269458,4	1968200,9
2082	8088556,2	7941810,2	3531220,4	4752331,0	534981,3	0,0	352079,2	1368969,7	5733256,0	397544,6	4774929,2	1157039,9
2083	570824,7	1075395,8	739120,3	150699,5	6520991,1	1068103,8	93197,6	59403,2	2101316,9	692309,8	1369754,0	2752595,6
2084	296400,0	1034653,6	435140,8	3635949,4	257369,5	538981,3	227815,7	102605,4	8862931,7	760829,4	993810,4	4991871,2
2085	940118,3	4007852,5	8155102,6	843389,0	591368,7	88734,7	0,0	0,0	3855198,7	783455,0	7961324,6	1076058,7
2086	541345,3	1393750,7	2152062,5	2760179,4	1791462,5	460106,0	0,0	0,0	712996,2	4015534,1	631663,5	1292918,6
2087	667837,2	2561047,4	1465294,7	4991597,3	1201537,4	6573,0	0,0	5400,3	178597,6	2735620,0	6419126,7	3016120,4
2088	460679,0	847999,4	3102849,8	2324604,1	5951276,1	2675184,5	0,0	0,0	1148328,2	914678,3	3080460,3	3204171,7
2089	2011554,8	4681527,9	2904131,0	175155,0	2595382,0	1626799,5	0,0	0,0	11368890,4	5754388,4	1149509,8	1535854,2
2090	826489,1	704928,8	5031414,6	157309,2	744638,2	6573,0	0,0	0,0	61392,8	647061,2	921875,2	636852,5
2091	611559,2	843262,3	1358337,1	2298827,2	727287,5	1605440,1	82842,4	178209,4	2889656,4	8409857,1	2696150,2	1393113,3
2092	418872,1	2158846,8	3064567,3	2179194,0	6134944,1	985941,0	0,0	0,0	2145964,6	6711090,9	5149873,8	5667838,7
2093	850876,5	638130,7	3604413,3	1313332,7	595710,6	149534,3	0,0	0,0	2524090,0	3140273,7	6214654,5	395972,4
2094	3126668,1	1078237,3	1688775,0	2160026,3	6019235,4	453532,9	0,0	2559735,1	2711060,4	2851341,7	2633088,6	4167671,1
2095	2689571,8	1406068,3	4550689,3	3006070,1	11617777,9	0,0	0,0	5400,3	957173,3	108597,7	1177101,3	3506803,6
2096	2604085,1	1038443,0	1231116,4	1829543,4	1353357,7	672080,5	0,0	1317666,1	1494359,6	8489363,0	3302679,9	7920158,8
2097	1037396,3	4355587,0	290469,3	598170,9	2596825,6	230052,7	0,0	0,0	1050658,5	4908865,2	7307002,1	13925651,8
2098	2158416,5	2466305,0	281461,8	578343,2	814041,2	49297,1	0,0	3877401,2	1495758,0	8082127,8	1242633,9	4161504,6
2099	939849,7	1876493,3	3654498,3	705907,9	160494,6	0,0	0,0	1131364,0	446494,2	7313529,0	5102081,0	4605517,5

**Πίνακας 6β. Τιμές μηνιαίας άμεσης εισροής λόγω βροχόπτωσης διορθομένων τιμών
RCAO περιόδου 2070-2100**

άμεση εισροή	τιμές γενναρή	τιμές φλέβαρη	τιμές Μαρτίου	τιμές Απριλίου	τιμές Μαΐου	τιμές Ιουνίου	τιμές Ιουλίου	τιμές Αυγούστου	τιμές Σεπτεμβρίου	τιμές Οκτωβρίου	τιμές Νοεμβρίου	τιμές Δεκεμβρίου
2070	158871,7	365780,8	4014011,3	663281,3	0,0	1788600,5	437118,8	0,0	18940,6	3244944,6	833943,4	1895289,5
2071	335023,5	1038421,8	565163,7	273937,1	0,0	4627,7	0,0	0,0	38639,5	1094386,4	4478680,0	724102,3
2072	279207,0	443829,6	900457,5	776826,5	3724000,0	87154,8	0,0	0,0	694201,5	666280,1	998836,6	1673030,9
2073	228362,7	109400,8	939826,0	967621,5	280965,0	644020,1	58325,3	0,0	2010561,8	1582866,0	2321211,2	2040885,0
2074	476491,5	1610106,7	2365813,8	120371,3	1267051,4	1534849,2	4860,4	0,0	11788,3	52185,9	582326,7	395872,3
2075	294622,0	823618,8	482463,6	233885,5	5506614,6	225214,2	267323,8	0,0	296673,2	127127,7	960676,7	2237688,2
2076	560776,0	306633,9	867958,8	636600,9	4403113,1	0,0	0,0	0,0	1309,8	992441,9	2778659,8	831686,6
2077	281693,1	539444,0	2223668,4	2763875,6	9429252,1	962559,0	233301,0	497040,0	7204,0	925996,3	1119559,5	3727447,6
2078	342979,7	1659690,4	1935400,2	1224489,6	1843231,2	149628,5	17011,6	141740,0	282919,5	1386258,8	1913263,1	3128330,4
2079	418934,6	1254106,9	814322,0	349944,4	3603659,2	101809,1	4860,4	30400,0	182063,9	308260,4	3599884,4	2644195,3
2080	410108,7	753797,9	6341,3	392446,4	1495757,5	319311,9	0,0	581400,0	349718,7	1624436,1	1655628,0	2671901,9
2081	832771,9	1482693,7	448642,9	204134,0	6574152,9	1632032,1	0,0	15208,3	434202,2	1037649,4	1065210,2	923809,7
2082	3752015,8	3727628,3	1657440,4	2230590,1	251102,9	0,0	165254,6	642550,0	2691004,5	186594,6	2241197,0	543077,0
2083	264786,8	504755,9	346919,1	70733,4	3060741,9	501333,3	43743,9	27881,9	986290,1	324947,8	642918,1	1291979,2
2084	137490,2	485632,9	204241,0	1706596,8	120800,9	252980,3	106929,3	48159,6	4159972,9	357108,7	466462,4	2343022,6
2085	436090,0	1881156,0	3827740,8	395859,5	277569,3	41649,2	0,0	0,0	1809505,3	367728,4	3736787,7	505067,1
2086	251112,3	654181,4	1010108,4	1295538,8	840854,4	215958,8	0,0	0,0	334657,3	1884761,6	296482,4	606854,1
2087	309787,7	1202072,6	687761,8	2342894,0	563962,7	3085,1	0,0	2534,7	83827,9	1284011,4	3012930,0	1415669,2
2088	213693,9	398023,4	1456377,1	1091093,8	2793336,1	1255644,9	0,0	0,0	538988,1	429320,3	1445868,2	1503934,3
2089	933094,3	2197357,5	1363105,0	82212,1	1218188,2	763567,0	0,0	0,0	5336188,7	2700923,4	539542,6	720880,2
2090	383381,2	330870,8	2361583,0	73835,8	349509,1	3085,1	0,0	0,0	28815,8	303709,6	432698,4	298917,9
2091	283682,3	395800,0	637559,4	1078995,0	341365,2	753541,5	38883,5	83645,7	1356311,1	3947314,3	1265485,5	653882,2
2092	194301,0	1013292,7	1438408,6	1022843,0	2879543,9	462768,8	0,0	0,0	1007246,2	3149968,5	2417183,9	2660299,8
2093	394693,7	299517,9	1691794,8	616435,8	279607,2	70186,5	0,0	0,0	1184726,0	1473942,7	2916957,4	185856,6
2094	1450358,7	506089,7	792656,3	1013846,3	2825234,0	212873,6	0,0	1201456,7	1272483,9	1338327,4	1235886,5	1956169,7
2095	1247604,1	659962,9	2135946,1	1410951,9	5453008,4	0,0	0,0	2534,7	449266,1	50972,3	552493,2	1645979,9
2096	1207949,7	487411,5	577846,2	858728,4	635222,2	315452,8	0,0	618469,8	701404,0	3984631,9	1550170,9	3717465,8
2097	481214,1	2044371,4	136336,9	280762,0	1218865,8	107979,3	0,0	0,0	493145,0	2304062,2	3429670,0	6536249,6
2098	1001218,6	1157603,6	132109,0	271455,6	382084,6	23138,4	0,0	1819926,4	702060,3	3793488,8	583252,1	1953275,4
2099	435965,4	880765,1	1715303,1	331330,3	75331,0	0,0	0,0	531025,6	209569,9	3432733,5	2394751,5	2161680,7

Abstract

This thesis aims to build a fuzzy logic program for the calculation of the water balance of Lake Karla, by using climate data from predictive models of climate change for the period 2070-2100. Initially there was a statistical analysis of rainfall in the region of both the period of 1960-1990 and 2070-2100, from various climate models and tested their resilience in the area of investigation. Future data was found by the European program for forecasting climate change, PRUDENCE. The values showed better adaptability in investigation and used in this thesis are from the regional model (Regional Climate Model) RCM. Afterwards, a linear equation of the future rainfall data for each month was found, which corrects the predicted by RCM values, via the method of double cumulative curve and the new values were calculated. Then the monthly values of the variables of the water balance of the lake in the period 2070-2100 were calculated. The variables of the water balance of the lake were fuzzified and a fuzzy logic program was built by using the MATLAB software. Using the values of the program, the monthly level of the lake for various future scenarios was calculated.

Key words: hydrology, rainfall, climate models, Mamdani